

**Τμήμα
Μηχανικών
Πληροφορικής τ.ε.**

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Δυτικής Ελλάδας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

Μελέτη και σχεδιασμός Routing πρωτοκόλλων για
WSN δίκτυα

ΜΑΚΡΥΓΕΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΜ:0096

ΠΑΠΑΛΕΞΑΝΔΡΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΜ:0290

Επιβλέπων καθηγητής: ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Απρίλιος 2015

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Εισαγωγή.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ:ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ	4
1.1 Εισαγωγή στα ασύρματα δίκτυα	5
1.1.1 Ιστορικό.....	6
1.1.2 Ασύρματα τοπικά και προσωπικά δίκτυα.....	7
1.1.3 Υπέρυθρη ακτινοβολία.....	7
1.2 Bluetooth	9
1.2.1 Bluetooth V.4.0	11
1.3 IEEE 802.15.4	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ:ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	16
2.1 Γενικά.....	16
2.2 Κύρια Χαρακτηριστικά	17
2.3 Πρωτόκολλα δρομολόγησης Δικτύων Αισθητήρων	20
2.3.1 Reactive πρωτόκολλα δρομολόγησης	20
2.3.1.1 DSR(Dynamic Source Routing)	20
2.3.1.2 AODV(Ad-hocOn-demandDistanceVector)	22
2.3.2 Proactive πρωτόκολλα δρομολόγησης	23
2.3.2.1 DSDV(Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector).....	24
2.3.2.2 HSR (Hierarchical State Routing Πρωτόκολλα)	26
2.3.3 Hybrid πρωτόκολλα δρομολόγησης.....	27
2.3.3.1 Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Ζώνης(Zone Routing Protocol - ZRP)	28
2.3.3.2 Landmard.....	28
2.3.4 Collection Tree Πρωτόκολλο Δρομολόγησης.....	29
2.3.5 Leach πρωτόκολλο δρομολόγησης.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: ΕΞΟΜΟΙΩΤΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΚΑΙ	
ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ PROBABILISTIC ΚΑΙ WISEROUTE	33
3.1.1 Network Simulator (NS 2-3)	33
3.1.2 Omnet++.....	35
3.1.2.1 Μοντελοποίηση των μεταδόσεων πακέτων.....	38
3.1.2.2 Messages, gates, connections	38
3.1.2.3 Παράμετροι	38
3.1.2.4 Προγραμματίζοντας τους αλγόριθμους.....	39

3.1.2.5 Δημιουργία και εκτέλεση προσομοίωσης.....	39
3.1.3 Mixim.....	39
3.1.3.1 MAC protocols.....	40
3.1.4 Castalia.....	41
3.1.5 OpNet.....	41
3.2 Μελέτη των πρωτοκόλλων.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ:ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ	
PROBABILISTIC ΚΑΙ WISEROUTE.....	47
4.1 Σενάρια προσομοίωσης.....	48
4.2 Μετρικές απόδοσης.....	50
4.2.1 Hops.....	50
4.2.2 Καθυστέρηση (Delay).....	50
4.2.3 Απώλεια πακέτων (Packet loss).....	50
4.3 Ανάλυση απόδοσης Probabilistic.....	51
4.3.1 Probabilistic Straight (single Transmitter senario).....	51
4.3.2 Probabilistic Straight (Multiple Transmitters senario).....	57
4.3.3 Probabilistic Grid Single Diagonal Transmitter.....	63
4.3.4 Probabilistic Grid Multiple Transmitter Centralized Scenario.....	68
4.4 Ανάλυση απόδοσης WiseRoute.....	75
4.4.1 Wiseroute Straight (single Transmitter senario).....	75
4.4.2 Wiseroute Straight (Multiple Transmitters senario).....	79
4.4.3 Wiseroute Grid Single Diagonal Transmitter.....	84
4.4.4 Wiseroute Grid Multiple Transmitter Centralized Scenario.....	88
4.5 Συγκριτική απόδοση του Probabilistic και του Wise route.....	93
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	97

Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και ανάπτυξη Routing πρωτοκόλλων εστιασμένα για WSN δίκτυα σε κυρίαρχες εξομοιωτικές πλατφόρμες. Το Routing επίπεδο αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο στην απόδοση αλλά και αξιοπιστία κάθε ασύρματου ad-hoc δικτύου και πολύ περισσότερο στα WSN δίκτυα. Στόχος της πτυχιακής αυτής είναι να γίνει μια ενδελεχή μελέτη και αξιολόγηση των κυρίαρχων WSN Routing πρωτοκόλλων και προσπάθεια ανάπτυξης/αξιολόγησης ενός υποσυνόλου αυτών σε εξομοιωτική ή/και πραγματική πλατφόρμα ανάπτυξης.

Η εργασία περιλαμβάνει:

- 1) Σχεδιασμό και ανάπτυξη συστήματος
- 2) Συγκριτική επισκόπηση ή μελέτη, και πλαίσιο αξιολόγησης,
- 3) Ανάλυση και σχεδιασμό μοντέλων,
- 4) Θεωρητική μελέτη, ανάπτυξη ή ανάλυση αλγορίθμων

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή αυτής της πτυχιακής εργασίας κύριο Χρήστο Αντωνόπουλο, για την βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε και κυρίως για την κατανόηση και την υπομονή του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ



1.1 Εισαγωγή στα ασύρματα δίκτυα

Ως **ασύρματο δίκτυο** χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, συνήθως τηλεφωνικό ή δίκτυο υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποιεί, ραδιοκύματα ως φορείς πληροφορίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα φέροντος η οποία εξαρτάται κάθε φορά από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που απαιτείται να υποστηρίξει το δίκτυο. Η ασύρματη επικοινωνία, σε αντίθεση με την ενσύρματη, δεν χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης κάποιον τύπο καλωδίου. Σε παλαιότερες εποχές τα τηλεφωνικά δίκτυα ήταν αναλογικά, αλλά σήμερα όλα τα ασύρματα δίκτυα βασίζονται σε ψηφιακή τεχνολογία και, επομένως, κατά μία έννοια, είναι ουσιαστικώς δίκτυα υπολογιστών. Στα ασύρματα δίκτυα εντάσσονται τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, οι δορυφορικές επικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN), τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN), τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN). Τα τέσσερα τελευταία εξετάζονται σε αυτό το άρθρο. Η τηλεόραση και το ραδιόφωνο, αν και ως τηλεπικοινωνιακά μέσα είναι εκ φύσεως ασύρματα στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν συμπεριλαμβάνονται στα ασύρματα δίκτυα, καθώς η μετάδοση γίνεται προς πάσα κατεύθυνση χωρίς να υπάρχει κάποιο δομημένο «δίκτυο» τηλεπικοινωνιακών κόμβων (συσκευών) με τη συνήθη έννοια. Επιπλέον, τα μεταφερόμενα δεδομένα συνήθως είναι αναλογικά και, επομένως, δεν μπορούν να θεωρηθούν δίκτυα υπολογιστών. [1]



Εικόνα 1:Λογότυπο Wi-Fi

Ο όρος **WiFi** (**Wireless Fidelity**, κατά την ορολογία **High Fidelity** η οποία αφορά την εγγραφή ήχου) χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τις συσκευές που βασίζονται στην προδιαγραφή IEEE 802.11 b/g/n και εκπέμπουν σε συχνότητες 2.4GHz. Ωστόσο το WiFi («ασύρματη πιστότητα» στα ελληνικά) έχει επικρατήσει και ως όρος αναφερόμενος συνολικά στα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Συνήθεις εφαρμογές του είναι η παροχή ασύρματων δυνατοτήτων πρόσβασης στο Internet, τηλεφωνίας μέσω διαδικτύου (VoIP) και διασύνδεσης μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών όπως τηλεοράσεις, ψηφιακές κάμερες, DVD Player και ηλεκτρονικοί υπολογιστές.[2]

1.1.1 Ιστορικό

Η πρώτη έκδοση του WiFi εισήχθη το 1997 και στο φυσικό επίπεδο περιελάμβανε δύο μεθόδους διασποράς φάσματος για τη μετάδοση στη ζώνη συχνοτήτων 2.4GHz, η εκπομπή στην οποία δεν απαιτεί άδεια. Η πρώτη μέθοδος λειτουργούσε με Frequency Hopping (FHSS) και υποστήριζε ρυθμό μετάδοσης 1 Mbps, ενώ η δεύτερη λειτουργούσε με Direct Sequence (DSSS) και υποστήριζε ρυθμό μετάδοσης 1-2 Mbps. Περιλαμβανόταν επίσης και μία υπέρυθρη εκδοχή (IR). Πριν από την εμφάνιση του 802.11 δεν υπήρχε κάποιο ευρέως αποδεκτό πρότυπο για ασύρματα τοπικά δίκτυα υπολογιστών, ούτε ανάλογες εμπορικές εφαρμογές, καθώς η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης δεν ήταν ακόμα αρκετά ώριμη.

Το 1999 το 802.11b ώθησε την ταχύτητα στα 11 Mbps χρησιμοποιώντας DSSS. Οι ρυθμοί λειτουργίας 1-2 Mbps με DSSS ισχύουν ακόμα, έτσι ώστε οι συσκευές να μπορούν να πέσουν σε χαμηλότερες ταχύτητες για να διατηρήσουν μια σύνδεση όταν τα σήματα είναι αδύνατα. Με την έκδοση αυτή ο όρος WiFi άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως και οι ασύρματες κάρτες δικτύου 802.11 να εξαπλώνονται ταχέως. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο μετάδοσης Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), δύο πρότυπα υψηλής ταχύτητας ακολούθησαν το 802.11b τα οποία παρέχουν μέχρι 54 Mbps: το 802.11a εκπέμπει στη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz αλλά δεν είναι συμβατό με τις ασύρματες κάρτες δικτύου οι οποίες υποστηρίζουν 802.11b, ενώ το 802.11g εκπέμπει στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz και είναι συμβατό με το 802.11b. Η επικοινωνία μεταξύ συσκευών εξοπλισμένων με κάρτες 802.11b και 802.11g γίνεται στην υψηλότερη δυνατή κοινή ταχύτητα, αυτήν του 802.11b.

Με τη διάδοση του WiFi κατά τις αρχές της δεκαετίας του 2000 εμφανίστηκε μία νέα μέθοδος πρόσβασης στο Internet: μία ψηφιακή συσκευή με κάρτα ασύρματης δικτύωσης WiFi, π.χ. ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ή ένα PDA, μπορεί να συνδεθεί στο Διαδίκτυο όταν βρίσκεται σε ακτίνα κάλυψης ασύρματου δικτύου ήδη συνδεδεμένου στο Internet, το οποίο ονομάζεται σημείο πρόσβασης (Access Point). Μία περιοχή που καλύπτεται από ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης συνδεδεμένα μεταξύ τους λέγεται *hotspot*. Ένα hotspot μπορεί να καλύπτει έναν χώρο έκτασης δωματίου ή και πολλών τετραγωνικών μέτρων.[3]

1.1.2 Ασύρματα τοπικά και προσωπικά δίκτυα

Τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα παρέχουν εύκολη διασύνδεση ετερογενών, φορητών ψηφιακών συσκευών τοποθετημένων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Αν και είναι δίκτυα υπολογιστών, δεν σχεδιάζονται για ενσωμάτωση σε μεγαλύτερα δίκτυα καθώς στοχεύουν σε καταναλωτικές φορητές συσκευές περιορισμένων πόρων (κινητά τηλέφωνα, συσκευές αναπαραγωγής πολυμέσων κλπ). Αντιθέτως, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) συνήθως αποτελούν δίκτυα κανονικών υπολογιστών (κατ' ελάχιστον PDA) με δυνατότητα ενσωμάτωσης σε ευρύτερα (ενσύρματα ή ασύρματα) WAN. Συγκριτικά με τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα παρέχουν ευελιξία, κινητικότητα και -υπό προϋποθέσεις- χαμηλότερο κόστος. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- Για ασύρματη επέκταση ενός προϋπάρχοντος ενσύρματου δικτύου, με έναν κύριο κόμβο να συνδέεται μέσω Ethernet με το LAN και να επικοινωνεί ασύρματα με άλλους σταθμούς.
- Για διασύνδεση LAN σε διαφορετικά κτίρια, συνήθως με συνδέσεις από σημείο σε σημείο μεταξύ γεφυρών ή δρομολογητών των επιμέρους LAN.
- Για παροδική ασύρματη ζεύξη μεταξύ LAN και κινητού τερματικού (νομαδική πρόσβαση).
- Για δικτύωση ad hoc / αδόμητη - ασύρματα δίκτυα ομότιμων κόμβων και αυθαίρετα μεταβαλλόμενης τοπολογίας τα οποία δεν απαιτούν καμία προϋπάρχουσα υποδομή και δημιουργούνται δυναμικά, με κόμβους να προστίθενται αυτομάτως στο δίκτυο όταν βρίσκονται εντός της εμβέλειάς του.

Τα WLAN λειτουργούν με ένα από τα τρία ακόλουθα φυσικά μέσα: υπέρυθρες ακτίνες, μικροκύματα με διασπορά φάσματος, μικροκύματα με στενή ζώνη.[4]

1.1.3 Υπέρυθρη ακτινοβολία

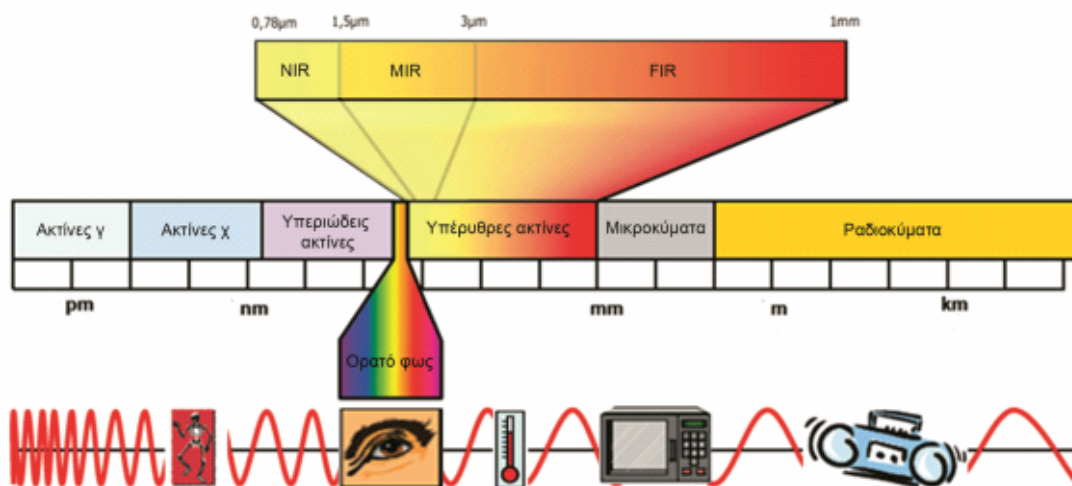
Οι υπέρυθρες ακτίνες έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Δεν διαπερνούν φυσικά εμπόδια, όπως π.χ. τοίχους
- Μεγάλη συχνότητα, άρα μεγάλο εύρος ζώνης και υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων
- Μέσα σε ένα δωμάτιο υπάρχει κάλυψη παντού λόγω ανάκλασης στην οροφή του

- Λόγω υψηλής κατευθυντικότητας είναι απαραίτητη η οπτική επαφή με ένα σημείο πρόσβασης στην οροφή
- Μικρή υποστήριξη κινητικότητας λόγω του προηγούμενου περιορισμού
- Ελεύθερη εκπομπή χωρίς ανάγκη άδειας
- Φθινό εξοπλισμό, χωρίς κεραία, υψηλή ασφάλεια λόγω περιορισμένης εμβέλειας

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι αξιοποίησης των υπέρυθρων στις τηλεπικοινωνίες:

- Με κατευθυντικά δίκτυα: δεν σχετίζονται με WLAN και ουσιαστικά είναι μεγάλου μήκους ζεύξεις από-σημείο-σε-σημείο με υψηλή κατευθυντικότητα.
- Με μη κατευθυντικά δίκτυα: WLAN όπου υπάρχει ένας σταθμός βάσης / σημείο πρόσβασης στο ταβάνι, ο οποίος δρα ως αμφίδρομος επαναλήπτης και προς τον οποίον εκπέμπουν όλα τα τερματικά με κατευθυνόμενη ακτίνα.
- Με δίκτυα διάχυσης: ο προαναφερόμενος σταθμός βάσης στην οροφή δεν είναι συσκευή αλλά ένα σημείο με την ικανότητα να διαχέει την ακτινοβολία που προσπίπτει επάνω του προς όλες τις κατευθύνσεις (η διαχεόμενη ακτινοβολία λαμβάνεται στη συνέχεια από τα τερματικά).



Εικόνα 2:Υπέρυθρη ακτινοβολία

1.2 Bluetooth



Εικόνα 3:Λογότυπο Bluetooth

Το Bluetooth είναι μια ασύρματη προδιαγραφή που αποσκοπεί στο να αντικαταστήσει τα καλώδια ως μέσου για τη μεταφορά δεδομένων και φωνής σημάτων μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών. Η προδιαγραφή προσδιορίζεται από το Bluetooth ειδικού ενδιαφέροντος (SIG) η οποία αποτελείται από πάνω από 1.000 κατασκευαστές ηλεκτρονικών. Προορίζεται κυρίως για συσκευές κινητής τηλεφωνίας, Bluetooth, την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και το χαμηλό κόστος.

Οι συσκευές Bluetooth έχουν την ικανότητα να δημιουργήσουν δίκτυα ad hoc. Η αρχιτεκτονική των δικτύων αυτών είναι προσωρινή και τυχαία. Το δίκτυο ad hoc δύο ή περισσότερων συσκευών Bluetooth ονομάζεται ένα piconet. Όταν δύο συσκευές Bluetooth κινήσουν μια σύνδεση, προσδιορίζεται αυτόματα εάν μία συσκευή πρέπει να ελέγχει τις άλλες. Γενικά, η συσκευή που εκκινεί την επικοινωνία αναλαμβάνει το ρόλο του master και ασκεί ορισμένους ελέγχους στα άλλα μέλη του piconet που είναι γνωστοί ως slaves. Κατά την ίδρυση μιας piconet, οι slave συσκευές συγχρονίζουν τα frequency hopping ακολουθίας και το ρολόι συστήματος με τον master προκειμένου να διατηρήσουν τη σύνδεση. Μια συσκευή master μπορεί να έχει έως επτά slaves. Ένας slave σε ένα piconet μπορεί επίσης να είναι master σε ένα άλλο, επιτρέποντας έτσι στα piconets να επικαλύπτονται και να αλληλεπιδρούν σχηματίζοντας αυτό που είναι γνωστό ως scatternet.

Χαρακτηριστικά ασφαλείας Bluetooth

Η ασφάλεια του bluetooth βασίζεται σε τρεις κρίσιμες υπηρεσίες: την άδεια (authorization), τον έλεγχο ταυτότητας(authentication) και κρυπτογράφηση(encryption). Η υπηρεσία ελέγχου ταυτότητας(authentication) διασφαλίζει ότι μια συσκευή που αναζητεί μια σύνδεση είναι πράγματι αυτή που τη χρειάζεται. Η άδεια (authorization) είναι η διαδικασία που καθορίζει το κατά πόσον ή όχι η αιτούσα συσκευή επιτρέπεται να έχει πρόσβαση σε συγκεκριμένες πληροφορίες ή υπηρεσίες. Η κρυπτογράφηση (encryption) βοηθά στο να διασφαλιστεί η εμπιστευτικότητα, προστασία των ιδιωτικών δεδομένων.

Οι συσκευές Bluetooth μπορούν να ρυθμιστούν σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας ασφάλειας. Στη λειτουργία ασφάλειας 1, δεν χρησιμοποιούνται μέτρα ασφαλείας. Οποιαδήποτε άλλη συσκευή Bluetooth μπορεί να έχει πρόσβαση στα δεδομένα και υπηρεσίες της συσκευής στην ασφάλεια λειτουργίας 1. Στην ασφάλεια λειτουργίας 2 θεσπίζονται μέτρα ασφαλείας που βασίζονται στην άδεια (authorization). Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, διαφορετικών επιπέδων αξιοπιστίας μπορούν να οριστούν για κάθε μία από τις υπηρεσίες που προσφέρονται από τη συσκευή. Η λειτουργία ασφάλειας 3 απαιτεί τόσο τον έλεγχο ταυτότητας όσο και την κρυπτογράφηση.[5]

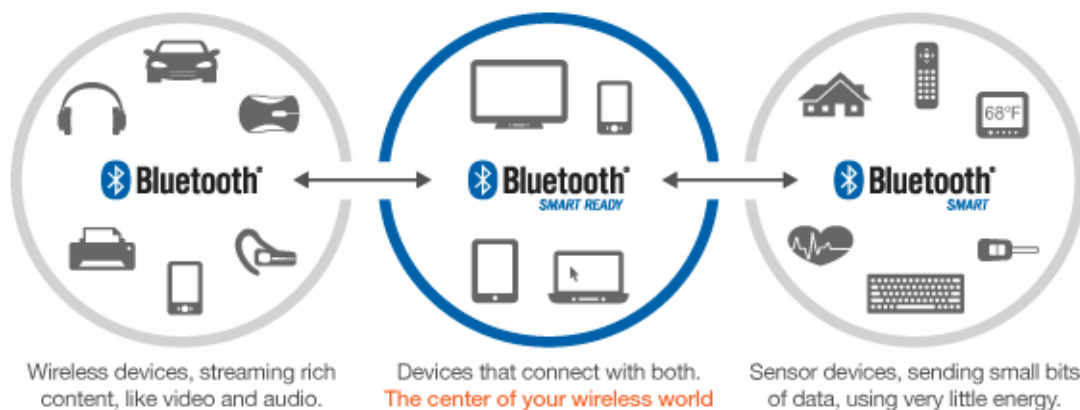
Στη μικρότερη τάξη μεγέθους ασύρματων δικτύων συναντώνται τα WPAN, τοπικά δίκτυα πολύ μικρής εμβέλειας με σκοπό την ασύρματη και ad hoc δικτύωση ετερογενών φορητών συσκευών. Το σπουδαιότερο πρότυπο στον χώρο αυτόν είναι η οικογένεια πρωτοκόλλων Bluetooth που σχεδιάστηκε από μία ομάδα εταιρειών και υιοθετήθηκε στη συνέχεια από την IEEE ως το πρότυπο 802.15 για WPAN. Οι βασικότερες προδιαγραφές αφορούν το φυσικό επίπεδο και το υπο-επίπεδο MAC, όπου έχουν δημιουργηθεί διαφορετικά πρωτόκολλα για διαφορετικές εφαρμογές και τα οποία ονομάζονται **προφίλ** (π.χ. προφίλ ασύρματου τηλεφώνου, προφίλ πρόσβασης σε LAN κλπ). Κάθε προφίλ περιλαμβάνει πρότυπα για όλα τα επίπεδα και προσφέρει λύσεις για τη διασύνδεση με διαφορετικά δίκτυα μεγαλύτερης κλίμακας.

Specifications	Bluetooth 1.1	Bluetooth 1.2	Bluetooth 2.0	Bluetooth 2.1 plus EDR (Enhanced Data Rate)	Bluetooth 3.0	Bluetooth 4.0
Voice dialing	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Call mute	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Last-number redial	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Improved resistance to radio frequency interference		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
10-meter range	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
100-meter range			Yes	Yes	Yes	Yes

Πίνακας 1: Bluetooth 1.1-4.0

Από φυσική άποψη το Bluetooth λειτουργεί περίπου στα 2,4 GHz, κάνει χρήση της μεθόδου διασποράς φάσματος FHSS με την τακτική εναλλαγή της συχνότητας να καθορίζεται ψευδοτυχαία από έναν κεντρικό κόμβο, τον κόμβο *Master*, και προδιαγράφει τρία επίπεδα ισχύος της εκπομπής από τα οποία εξαρτάται και η εμβέλεια επικοινωνίας (πάντα μικρότερη των 10 μέτρων σε PAN). Ένα πρόβλημα των προδιαγραφών του

Bluetooth είναι ότι, λόγω της μετάδοσης στην ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων των 2,4 GHz, οι συσκευές που το υποστηρίζουν αδυνατούν να χρησιμοποιήσουν ταυτόχρονα τα περισσότερα πρωτόκολλα της οικογένειας IEEE 802.11, καθώς τότε θα εμφανίζονταν σοβαρά προβλήματα παρεμβολών



Εικόνα 4: Χρήση συσκευών Bluetooth

1.2.1 Bluetooth V.4.0

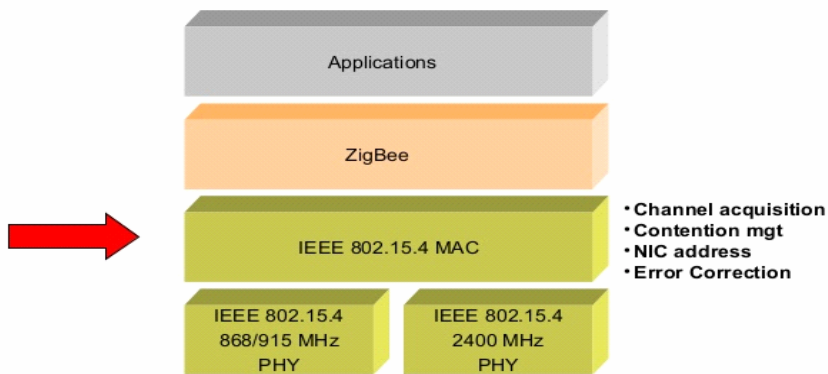
Σύμφωνα με τον Mike Foley, εκτελεστικός διευθυντής της Bluetooth SIG (Special Interest Group), το βασικό νέο χαρακτηριστικό του Bluetooth 4.0 είναι η χαμηλής ενέργειας τεχνολογία. Αυτό επιτρέπει στους κατασκευαστές συσκευών να αντικαταστήσουν την ιδιόκτητη τεχνολογία αισθητήρων με Bluetooth, το οποίο είναι ένα πιο ευρέως υιοθετημένο πρότυπο. Ένα προφανές παράδειγμα είναι στην κατηγορία της υγείας και της φυσικής κατάστασης. Τα περισσότερα βηματόμετρα, οι μάντες του καρδιακού ρυθμού, καθώς και η παρακολούθηση της γλυκόζης του αίματος έχουν σχεδιαστεί μόνο για ένα συγκεκριμένο ρολόι χεριού ή μονάδα ελέγχου. Εάν αυτές οι συσκευές υποστηρίζουν το Bluetooth 4.0, μπορούν να συνδεθούν με οποιαδήποτε συσκευή που υποστηρίζει το Bluetooth 4.0, χωρίς ενδιάμεσο τρόπο σύνδεσης. Είναι μια πολύ βελτιωμένη έκδοση του Bluetooth, δήλωσε ο Foley. Ενεργοποιεί μια νέα εντελώς κατηγορία προϊόντων στον κόσμο του Bluetooth. Αυτή η έκδοση Bluetooth στοχεύει ειδικά σε μικρές συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία όπως είναι οι Nike+ αισθητήρες, Fitbits, και άλλα παρόμοια προϊόντα που δεν χρειάζονται σχεδόν καθόλου ενέργεια. Ο Foley πιστεύει ότι τα περισσότερα γυμναστήρια θα μπορούσαν να έχουν υπολογιστές που θα υποστηρίζουν την έκδοση Bluetooth v4.0 και θα μπορούν να ανεβάζουν οι πελάτες τα στατιστικά της καθημερινής τους προπόνησης στην εφαρμογή cloud. Το Bluetooth v4.0 περιλαμβάνει το κλασικό Bluetooth, το Bluetooth υψηλών ταχυτήτων και το Bluetooth χαμηλής ενέργειας. Το Bluetooth υψηλών ταχυτήτων είναι βασισμένο στο WiFi, και το κλασικό Bluetooth αποτελεί την κληρονομιά των πρωτοκόλλων Bluetooth. Το Bluetooth χαμηλής ενέργειας, παλαιότερα γνωστό ως Wibree, είναι ένα υποσύνολο του Bluetooth v4.0 με μια εξ ολοκλήρου νέα σειρά πρωτοκόλλων που έχει ως σκοπό τη συσσώρευση απλών συνδέσεων.

Το Bluetooth 4.0 προσφέρει νέες δυνατότητες σε κατασκευαστές, όσο και σε προϊόντα, όπως τηλεκοντρόλ, ρολόγια, ιατρικό εξοπλισμό, αλλά και οικιακούς αισθητήρες. Πολλά από αυτά τα προϊόντα, χρησιμοποιούν μπαταρίες για την τροφοδοσία τους και θα ωφεληθούν τόσο από την χαμηλή κατανάλωση που απαιτεί το νέο πρωτόκολλο, όσο και από τη μεγαλύτερη εμβέλεια. Το Bluetooth 4.0 είναι ουσιαστικά τρεις τεχνολογίες σε μία: το κλασικό Bluetooth, το Bluetooth χαμηλής κατανάλωσης και το Bluetooth υψηλής ταχύτητας, οι οποίες είτε μπορούν να συνδυαστούν, είτε να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά, ανάλογα τη συσκευή αλλά και τη χρήση. Για παράδειγμα, σε συσκευές όπως αισθητήρες σε βηματόμετρα (pedometers) και οθόνες, θα χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία της χαμηλής κατανάλωσης. Αντίθετα, τα ρολόγια θα εκμεταλλευτούν παράλληλα τη λειτουργία της χαμηλής κατανάλωσης αλλά και την κλασική τεχνολογία του Bluetooth για να επικοινωνήσουν με PCs και smartphones. Όσον αφορά τέλος τα κινητά τηλέφωνα και τα PCs, στα οποία θα είναι ιδιαίτερα δημοφιλές το πρότυπο, θα χρησιμοποιούνται και οι τρεις τεχνολογίες παράλληλα, ανάλογα κάθε φορά τη χρήση.[6]

1.3 IEEE 802.15.4

Το IEEE 802.15.4 είναι ένα πρότυπο που ορίζει το φυσικό επίπεδο και τον έλεγχο πρόσβασης μέσου (MAC) για ασύρματα προσωπικά δίκτυα μικρής εμβέλειας και χαμηλής ταχύτητας (LR-WPANs) που σχηματίζονται από σταθερές ή κινούμενες συσκευές, τροφοδοτούμενες από μπαταρίες ή κάποια άλλη πηγή περιορισμένης ενέργειας και ολοκληρώθηκε στις αρχές του 2003. Τα Low-Rate WPANs χαρακτηρίζονται από μικρό αριθμό καθηκόντων, χαμηλό κόστος, μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και υποστήριξη για μεγάλο αριθμό κόμβων. Η αρχιτεκτονική κάθε LR-WPAN (Low Rate–Wireless Personal Network), στην κατηγορία των οποίων ανήκουν και τα WSNs, κατηγοριοποιείται σε μία σειρά από επίπεδα (layers), τα οποία διευκολύνουν τη μελέτη και το σχεδιασμό του δικτύου και τυποποιούνται από μία σειρά πρωτοκόλλων. Αποτελείται από το φυσικό επίπεδο, το οποίο περιλαμβάνει έναν πομποδέκτη για τις ράδιο-συχνότητες μαζί με κάποιους μηχανισμούς ελέγχου χαμηλού επιπέδου, και το επίπεδο MAC, το οποίο παρέχει μηχανισμούς πρόσβασης στο φυσικό κανάλι, όπως το (CSMA/CA Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) για πρόσβαση στο κανάλι μέσω του φυσικού μέσου. Η πρόσβαση στο υπό-επίπεδο MAC γίνεται μέσω του Logical Link Control (LLC) και του υπό-στρώματος σύγκλισης ειδίου ως προς την υπηρεσία (Specific Convergence Sublayer-SSCS). Κάθε επίπεδο επιτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες και παρέχει υπηρεσίες μόνο στο υπερκείμενο επίπεδό του.

802.15.4 Architecture



Slide 9

Joe Dvorak, Motorola

9/27/05

Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική 802.15.4

Οι ασύρματες ζεύξεις υπό την επίβλεψη του προτύπου 802.15.4 μπορούν να λειτουργήσουν τρεις ISM (Industrial Scientific Medical) ζώνες συχνοτήτων με ρυθμούς δεδομένων:

- 250 Kbps στη ζώνη των 2.4 GHz με κωδικοποίηση O-QPSK
- 40 Kbps στη ζώνη των 915 MHz με κωδικοποίηση BPSK
- 20 Kbps στη ζώνη των 868 MHz με κωδικοποίηση BPSK

Στο πρωτόκολλο 802.15.4 εκχωρούνται συνολικά 27 κανάλια εκ των οποίων 16 κανάλια ανήκουν στη ζώνη των 2.4 GHz, 10 κανάλια στη ζώνη των 915 MHz και 1 κανάλι στη ζώνη των 868 MHz. Η ζώνη των 2.4 GHz αποτελεί την πιο διαδεδομένη ζώνη συχνοτήτων, που είναι και η κοινή ζώνη συχνοτήτων λειτουργίας με τα υπόλοιπα ασύρματα δίκτυα άρα και επικάλυψης. Σε αυτή τη ζώνη συχνοτήτων εκτελέστηκαν και οι πειραματικές μετρήσεις αυτής της εργασίας με Crossbow iris motes που χρησιμοποιούν αυτή την περιοχή συχνοτήτων.

Υπάρχουν δύο είδη κόμβων:

- Συσκευή πλήρους λειτουργίας (Full-Function Device—FFD)
- Συσκευή μειωμένης λειτουργίας (Reduced-Function Device RFD)

Ένα δίκτυο περιέχει τουλάχιστον έναν κόμβο FFD, ο οποίος λειτουργεί σαν κεντρικός συντονιστής του δικτύου. Ο κόμβος FFD μπορεί να λειτουργήσει είτε ως κεντρικός συντονιστής ενός προσωπικού δικτύου (Personal Area Network–PAN coordinator), είτε ως τοπικός συντονιστής σε οποιαδήποτε περιοχή του δικτύου ή ως απλή συσκευή. Το δίκτυο αποτελείται από κόμβους FFD, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν με οποιονδήποτε κόμβο που βρίσκεται εντός της εμβέλειας τους, και από κόμβους RFD, οι οποίοι μπορούν να επικοινωνούν μόνο με τον πλησιέστερο κόμβο FFD ή τον έναν κεντρικό κόμβο FFD συντονιστή, ο οποίος είναι συνήθως συνδεδεμένος με έναν υπολογιστή ή κάποιο άλλο δίκτυο. Οι κόμβοι RFD προορίζονται για απλές εργασίες, ενώ οι κόμβοι FFD αποτελούν το βασικό κορμό του δικτύου. Οι κόμβοι ορίζονται είτε με μία 64bit IEEE διεύθυνση είτε μία 16bit «μικρή» διεύθυνση κατά τη διάρκεια της συσχέτισης.

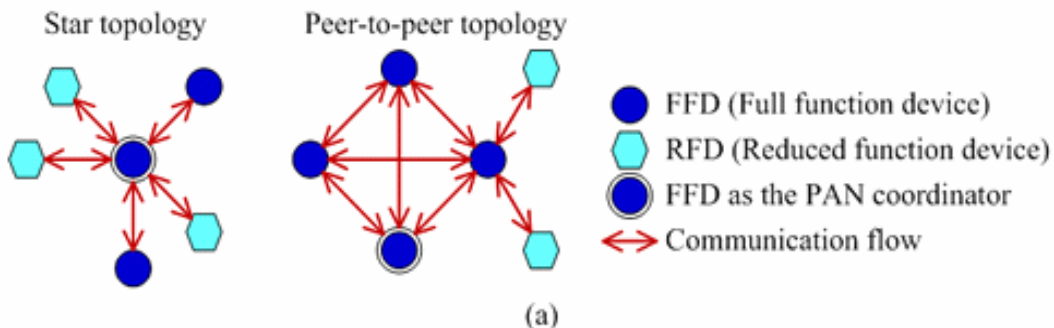
Το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 υποστηρίζει τρεις βασικές τοπολογίες:

- **Τοπολογία αστέρα**

Στην τοπολογία αστέρα η συσκευή FFD, μετά την πρώτη ενεργοποίησή της, μπορεί να εγκαθιδρύσει το δίκτυό της και να λειτουργεί ως PAN coordinator. Με την επιλογή ενός PAN Identifier, που είναι μοναδικό για κάθε δίκτυο εντός της περιοχής εκπομπής, όλα τα δίκτυα αστέρα λειτουργούν ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα δίκτυα αστέρα σε τρέχουσα λειτουργία

- **Τοπολογία peer-to-peer (mesh)**

Στην peer-to-peer τοπολογία κάθε συσκευή μπορεί να επικοινωνήσει με κάθε άλλη που βρίσκεται στην περιοχή εκπομπής της, καθώς και να εξαχθούν επιπρόσθετες τοπολογίες όπως η cluster tree μορφή. Μια συσκευή ορίζεται ως PAN coordinator, η οποία μπορεί να αποτελεί την πρώτη συσκευή που επικοινωνεί στο

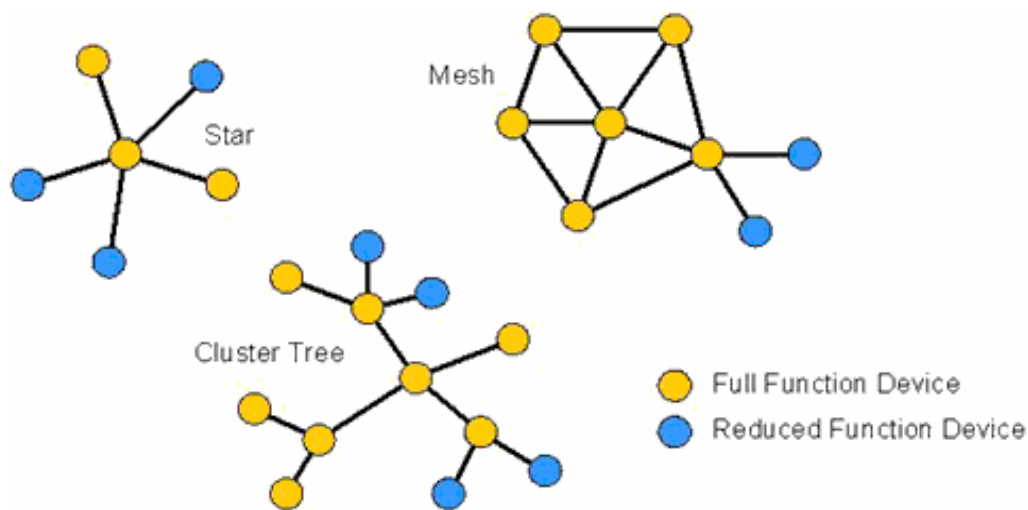


Εικόνα 6: Βασικές τοπολογίες 802.15.4

- **Τοπολογία Cluster – tree**

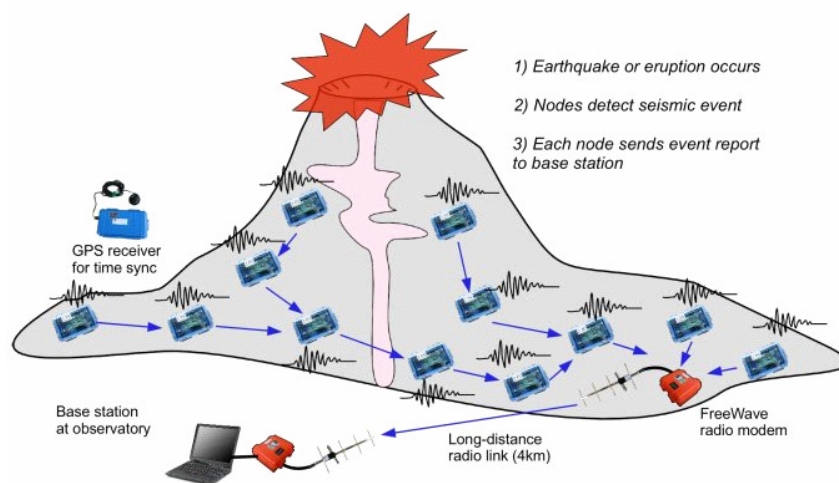
Η τοπολογία αυτή αποτελεί μία ειδική περίπτωση της τοπολογίας peer-to-peer. Οι περισσότερες συσκευές αυτής της τοπολογίας είναι συσκευές FFD, ενώ μία συσκευή RFD μπορεί να συνδεθεί μόνο όταν είναι στο τέλος της διακλάδωσης του cluster, αφού έχει τη δυνατότητα να επικοινωνήσει μόνο με μια συσκευή FFD κάθε φορά. Η κάθε συσκευή FFD έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει σαν συντονιστής και να παρέχει συγχρονισμό σε άλλες συσκευές καθώς και σε άλλους συντονιστές. Ως καθολικός PAN coordinator του δικτύου, ο οποίος καταναλώνει τους περισσότερους υπολογιστικούς πόρους από κάθε άλλη συσκευή, μπορεί να λειτουργήσει μόνο ένας συντονιστής. Ο PAN coordinator σχηματίζει την πρώτη ομάδα – cluster, της οποίας αποτελεί το cluster head –CLH της ομάδας με το cluster identifier – CID να λαμβάνει

την τιμή 0, επιλέγει ένα αχρησιμοποίητο PAN identifier και μεταδίδει ευρέως ακολουθίες δεδομένων σε γειτονικές συσκευές. Μια συσκευή, που είναι υποψήφια για σύνδεση, όταν λάβει μια ακολουθία δεδομένων μπορεί να απαιτήσει να συνδεθεί στο δίκτυο μέσω του CLH και αν ο PAN coordinator της επιτρέψει, τότε θα προστεθεί η συσκευή ως child στη λίστα των γειτόνων του. Εν συνεχεία, η συσκευή αυτή θα προσθέσει το CLH ως parent στη λίστα γειτόνων της και θα ξεκινήσει η μετάδοση περιοδικών ακολουθιών (periodic beacons). Αν η σύνδεση αυτή δεν είναι εφικτή, τότε η συσκευή θα αναζητήσει άλλο CLH – parent που ανήκει σε άλλο cluster του δικτύου. Βασικό πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας είναι η ευρεία κάλυψη μιας περιοχής, ενώ μειονέκτημά της είναι η χαμηλή ταχύτητα μετάδοσης των μηνυμάτων.[7]



Εικόνα 7: Star and Tree topology

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ



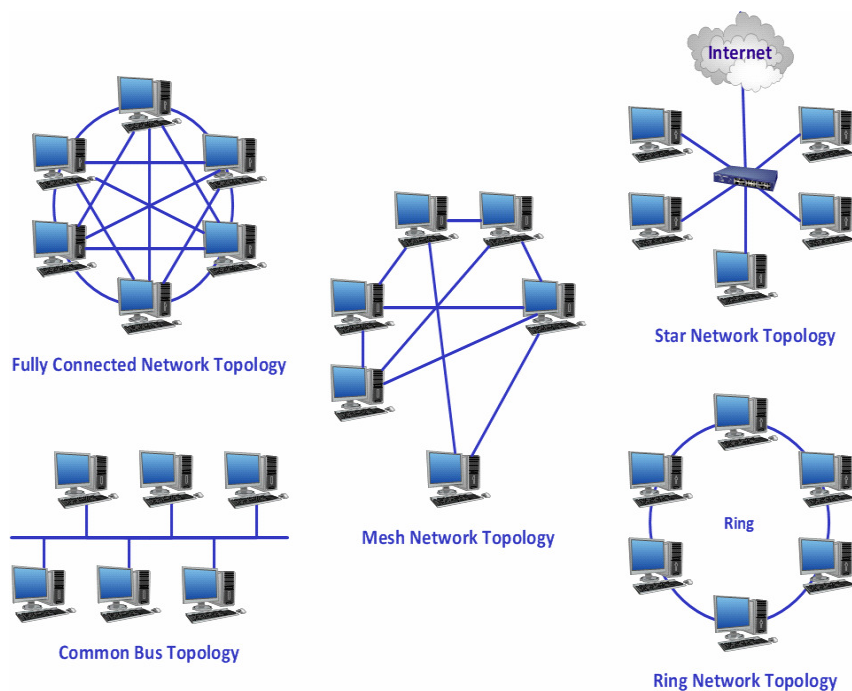
Εικόνα 8: Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

2.1 Γενικά

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (ΑΔΑ / Wireless Sensor Network - WSN) αποτελείται από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες για την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντολογικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η ατμοσφαιρική πίεση κτλ και μέσω συνεργασίας να μεταφέρει τα δεδομένα μέσω του δικτύου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Τα πιο μοντέρνα δίκτυα είναι ικανά και να δίνουν αλλά και να δέχονται πληροφορίες πράγμα που τους επιτρέπει να ελέγχουν την δραστηριότητα των αισθητήρων. Το κίνητρο για την ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων με αισθητήρες ήταν οι στρατιωτικές εφαρμογές όπως η παρακολούθηση των πεδίων μάχης. Σήμερα τέτοια δίκτυα χρησιμοποιούνται σε πολλές καταναλωτικές και βιομηχανικές εφαρμογές, η παρακολούθηση και ο έλεγχος της βιομηχανικής παραγωγής, την παρακολούθηση των μηχανημάτων υγείας και πολλά άλλα.

Το **ασύρματο δίκτυο αισθητήρων** αποτελείται από κόμβους από μερικές σε αρκετές εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες, όπου κάθε κόμβος συνδέεται σε έναν (ή κάποιες φορές σε αρκετούς) αισθητήρες. Κάθε τέτοιος κόμβος του δικτύου αισθητήρων έχει χαρακτηριστικά μερικά κομμάτια : ένα ράδιοπομποδέκτη με μια εσωτερική κεραία ή μια σύνδεση με μια εξωτερική κεραία, έναν μικροελεγκτή, ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για την διασύνδεση με τους αισθητήρες και μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία ή μια ενσωματωμένη μορφή συγκομιδής ενέργειας. Ένας αισθητήριος κόμβος μπορεί να ποικίλει

σε μέγεθος από εκείνο ενός κουτιού παπουτσιών μέχρι το μέγεθος ενός κόκκου σκόνης, αν και λειτουργικοί <<κόκκοι>> πραγματικά μικροσκοπικών διαστάσεων δεν έχουν ακόμα δημιουργηθεί. Το κόστος των αισθητήριων κόμβων ποικίλει, ξεκινώντας από μερικά και φτάνοντας σε εκατοντάδες δολάρια, αναλόγως την πολυπλοκότητα των μεμονωμένων αισθητήριων κόμβων. Οι περιορισμοί σε μέγεθος και κόστος έχουν ως αποτέλεσμα αντίστοιχους περιορισμούς σε πόρους όπως ενέργεια, μνήμη, υπολογιστική ταχύτητα και στο εύρος ζώνης των επικοινωνιών. Η τοπολογία των αισθητήρων μπορεί να διαφέρει από ένα δίκτυο τοπολογίας αστέρος σε ένα αναπτυγμένο ασύρματο δίκτυο πλέγματος multi-hop. Η πολλαπλασιαστική τεχνική μεταξύ των λυκίσκων του δικτύου μπορεί να είναι η δρομολόγηση ή ο καταιγισμός διακίνησης.



Εικόνα 9: Τοπολογίες ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Στην επιστήμη των υπολογιστών και των τηλεπικοινωνιών, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι ένας ενεργός τομέας έρευνας με πολυάριθμα εργαστήρια και συνέδρια που διοργανώνονται κάθε χρόνο.

2.2 Κύρια Χαρακτηριστικά

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός WSN περιλαμβάνουν:

- Τους περιορισμούς κατανάλωσης ενέργειας για κόμβους που κάνουν χρήση μπαταριών ή τη συγκομιδή της ενέργειας
- Δυνατότητα να αντιμετωπιστούν αποτυχίες του κόμβου

- Η κινητικότητα των κόμβων
- Αποτυχίες επικοινωνίας
- Η ετερογένεια των κόμβων
- Κλιμάκωση σε μεγάλη κλίμακα της ανάπτυξης
- Ικανότητα να αντέχει σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες
- Ευκολία στη χρήση

Πιο αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι:

1.Χαμηλή Κατανάλωση:

Οι κόμβοι του δικτύου, συνήθως, τροφοδοτούνται με μπαταρίες οι οποίες μετά από κάποιο χρονικό διάστημα θα αδειάσουν, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μετά από αυτό το χρονικό διάστημα το δίκτυο να είναι πλέον άχρηστο. Άρα όσο πιο χαμηλή είναι η κατανάλωση του κάθε κόμβου ξεχωριστά, τόσο πιο πολύ μεγαλώνει αυτό το χρονικό διάστημα και τόσο μειώνεται το κόστος συντήρησης. Σε αρκετά δίκτυα χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (πχ. ηλιακή ενέργεια), μια τέτοια υλοποίηση εξαρτάται ομοίως από την τοποθεσία και τις απαιτήσεις του κάθε δικτύου ξεχωριστά. Για παράδειγμα ένα δίκτυο που μελετά συγκεκριμένα ψάρια σε μεγάλο βάθος κάποιου ωκεανού δεν μπορεί να βασιστεί στον ήλιο σαν πηγή ενέργειας. Ένα άλλο παράδειγμα είναι τα body sensor networks (δίκτυα σχεδιασμένα για το ανθρώπινο σώμα), είναι σαφές ότι ο κάθε κόμβος υπόκειται σε περιορισμούς μεγέθους άρα δεν είναι καθόλου εφικτό να εξαρτώνται, για παράδειγμα, από ηλιακές κυψέλες για ενέργεια.

2.Αυτόνομη και προγραμματιζόμενη λειτουργία:

Ο κάθε κόμβος θα πρέπει να έχει την ικανότητα να λειτουργήσει αυτόνομα, δηλαδή να ξέρει τι να κάνει (να πάρει μετρήσεις,) πότε να το κάνει (συχνότητα δειγματοληψίας), που θα στείλει την μέτρηση (πχ Broadcasting – σε όλους όσους είναι στην εμβέλεια του). Ταυτόχρονα θα έχει την δυνατότητα να προγραμματίζεται δυναμικά, για παράδειγμα μπορεί το base station να διαδώσει στο δίκτυο καινούργια δεδομένα λειτουργίας για το κάθε κόμβο με αποτέλεσμα τον δυναμικό επαναπρογραμματισμό του δικτύου.

3.Χαμηλό κόστος:

Την δεδομένη στιγμή το κόστος των κόμβων (nodes) που κυκλοφορούν στην αγορά είναι απαγορευτικό για μεγάλης κλίμακας δίκτυα. Για παράδειγμα εάν θέλουμε να παρακολουθήσουμε την υγρασία στο τροπικό δάσος του Αμαζονίου που έχει έκταση 5,5 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα αντιλαμβάνεστε ότι με ασύρματους αισθητήρες οι

όποιοι έχουν εμβέλεια το πολύ γύρω στα 100 μέτρα θα χρειαστούμε εκατομμύρια κόμβους και εκατοντάδες εκατομμύρια ευρώ για την αγορά του.

4. Γρήγορη δημιουργία δικτύου:

Τα περισσότερα δίκτυα έχουν την ικανότητα μέσα σε μερικά λεπτά να έχουν χαρτογραφήσει το δίκτυο τους και να ξεκινήσουν την προγραμματιζόμενη λειτουργία τους. Αυτό βέβαια είναι σχετικό διότι εξαρτάται αρκετά και από το μέγεθος του δικτύου και σίγουρα από το hardware/software των κόμβων.

5. Προσαρμοστικότητα:

Βασικό χαρακτηριστικό τέτοιου είδους δικτύων είναι η ικανότητα τους να προσαρμόζονται στα νέα δεδομένα του δικτύου. Για παράδειγμα η απώλεια κάποιων κόμβων δεν καταστρέφει το δίκτυο ολόκληρο διότι το δίκτυο, προσαρμόζεται και δημιουργεί νέα «μονοπάτια» μεταξύ των κόμβων για να διατηρηθεί η συνένωση τους.

6. Απλότητα:

Οι περιορισμένοι υπολογιστικοί και ενεργειακοί πόροι του κάθε κόμβου απαίτησαν τον σχεδιασμό απλών και αποδοτικών αλγορίθμων για την διεκπεραίωση των προγραμματισμένων διεργασιών που εκτελεί το δίκτυο.

7. Απόδοση:

Θυσιάζοντας την ταχύτητα αποστολής δεδομένων, οι κόμβοι μειώνουν τις επανεκπομπές πακέτων λόγω σφαλμάτων, αυξάνοντας την αξιοπιστία στην μετάδοση του κάθε πακέτου.

Κόμβοι αισθητήρων μπορούν να χαρακτηριστούν ως μικροί υπολογιστές, πολύ βασικό όσον αφορά τις διεπαφές τους και τα συστατικά τους. Συνήθως αποτελούνται από μια μονάδα επεξεργασίας με περιορισμένη υπολογιστική ισχύ και περιορισμένη μνήμη, αισθητήρες ή MEMS-Microelectromechanical systems(συμπεριλαμβανομένων ειδικών κυκλωμάτων κλιματισμού), μια συσκευή επικοινωνίας (συνήθως ράδιο πομποδέκτες ή εναλλακτική οπτική), και μια πηγή ενέργειας συνήθως με τη μορφή μιας μπαταρίας. Άλλα πιθανά εγκλείσματα είναι ενότητες συγκομιδής ενέργειας, δευτεροβάθμια ASICs (application-specific integrated circuit), και ενδεχομένως της δευτεροβάθμιας διεπαφής επικοινωνίας (π.χ. RS-232 ή USB). Οι βασικοί σταθμοί είναι ένα ή περισσότερα συστατικά του WSN με πολύ μεγαλύτερη υπολογιστική δύναμη, την ενέργεια και την επικοινωνία των πόρων. Ενεργούν ως πύλη μεταξύ των κόμβων αισθητήρων και του τελικού χρήστη, καθώς προωθούν συνήθως τα δεδομένα από το WSN σε ένα διακομιστή. Άλλες ειδικές συνιστώσες στη δρομολόγηση δικτύων είναι οι δρομολογητές, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για τον υπολογισμό, και τη διανομή τους πίνακες δρομολόγησης.[8]

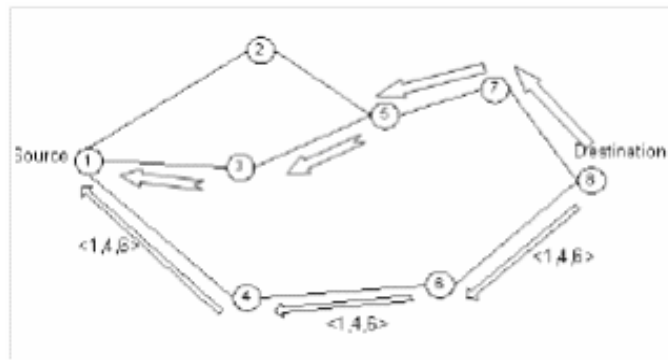
2.3 Πρωτόκολλα δρομολόγησης Δικτύων Αισθητήρων

2.3.1 Reactive πρωτόκολλα δρομολόγησης

Τα Reactive πρωτόκολλα αποσκοπούν στην μείωση συμβατικών Routing tables στους κόμβους και συνεπώς την ανάγκη για routing table updates ώστε να ανιχνεύονται οι αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου. Ως αποτέλεσμα μια on-demand διαδικασία είναι απαραίτητη για την εύρεση βέλτιστης διαδρομής. Δημιουργώντας routing tables μόνο όταν είναι απαραίτητο μειώνεται δραστικά το overhead και το routing table storage. Ωστόσο η διαδικασία που ενεργοποιείται στην αρχή μπορεί να καθυστερήσει αρκετά το route setup. Επιπλέον η ποιότητα του μονοπατιού (bandwidth,delay κ.α.) γνωστοποιούνται μετά την εγκατάσταση του route. Τέλος τα Reactive routing πρωτόκολλα δεν είναι χρήσιμα σε real-time υπηρεσίες.[9]

2.3.1.1 DSR(Dynamic Source Routing)

Είναι ένα δραστικό πρωτόκολλο που δημιουργεί μια πορεία την οποία αναζητά χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο δρομολόγησης , δηλαδή απαιτεί μια πλήρη σειρά από μονοπάτια που δημιουργούνται μεταξύ της πηγής και του προορισμού (εικόνα 2.2.1) έτσι ώστε μέσω των κόμβων να μεταδίδουν κάποια πακέτα. Κάθε πακέτο από αυτά ακολουθεί την ίδια πορεία. Το σημαντικότερο κίνητρο αυτού του πρωτοκόλλου είναι να περιορίζει το bandwidth, έτσι ώστε να αποφεύγει τις συνεχόμενες ενημερώσεις αλλά και μεγάλο χρονικό διάστημα συμφόρησης. Ένα χαρακτηριστικό γεγονός σε αυτό το πρωτόκολλο είναι ότι στέλνει ένα μήνυμα αίτησης για τη διαδρομή που θα ακολουθήσει στο δίκτυο και αποτελείται από δύο διαδικασίες το Route Discovery και το Route Maintenance.



DSR Route Reply

Εικόνα 10: Απάντηση προορισμού σε ένα DSR πρωτόκολλο

Route Discovery:

Είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο μας δείχνει τη δρομολόγηση κατά τη μετάδοση ενός πακέτου. Κατά πρώτη φάση, ο κόμβος μετάδοσης αναζητά μια προσωρινή μνήμη κατά τη διαδρομή του, για να δει αν υπάρχει ένας έγκυρος προορισμός και αν ναι, τότε ο κόμβος αρχίζει τη μετάδοση προς τον κόμβο προορισμού και η διαδικασία της διαδρομής τελειώνει εδώ. Εάν δεν υπάρχει καμία διεύθυνση προορισμού τότε ο κόμβος προωθεί το πακέτο για να φτάσει στον προορισμό του. Όταν ο κόμβος προορισμού παίρνει αυτό το πακέτο, τότε επιστρέφει προς τον κόμβο προέλευσης τη διαδρομή την οποία ακολούθησε το πακέτο.

Route Maintenance:

Είναι μια διαδικασία μετάδοση ενός μηνύματος από έναν κόμβο σε όλους τους άλλους κόμβους για την ενημέρωση της επιτυχίας ή της αποτυχίας σε ένα δίκτυο. Παρέχει μια έγκαιρη ανίχνευση για την αποτυχία ενός κόμβου ή μιας σύνδεσης από ασύρματα δίκτυα που χρησιμοποιούν το hop-to-hop.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του πρωτοκόλλου είναι τα εξής:

- 1) γνωρίζουν την ύπαρξη εναλλακτικών διαδρομών που βοηθά στο να βρεθεί μια άλλη πορεία στην περίπτωση της αποτυχίας ενός κόμβου ή μιας σύνδεσης.
- 2) την αποφυγή βρόχων και

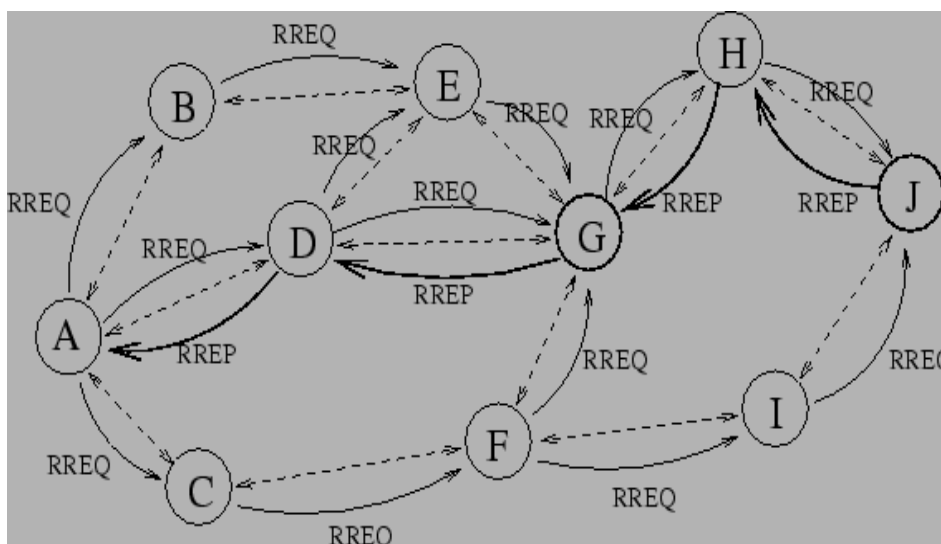
3) λιγότερη συντήρηση γενικών εξόδων, δεδομένου ότι ένα πρωτόκολλο δρομολόγηση

Από την άλλη πλευρά, τα μειονεκτήματα είναι:

- 1) Μεγάλη καθυστέρηση για την ανακάλυψη της διαδρομής η οποία δεν μπορεί να είναι αποδεκτή σε καταστάσεις όπως το σημείο της συμφόρησης.
- 2) Δεν είναι κατάλληλο για μεγάλο αριθμό κόμβων, όπου η ταχύτητα μπορεί να υποφέρει και
- 3) παράγει μηνύματα κατά τη διάρκεια της αιχμής.

2.3.1.2 AODV(Ad-hocOn-demandDistanceVector)

Πρόκειται για ένα κλασικό πρωτόκολλο δρομολόγησης MANET που θέτει προβλήματα, όπως μεγάλη συγκομιδή πακέτων σε reactive πρωτόκολλα προέλευσης και μεγάλη επιβάρυνση μηνυμάτων λόγω συνεχόμενων ενημερώσεων σε proactive πρωτόκολλα. Χρησιμοποιεί μια κατανεμημένη προσέγγιση, δηλαδή παρακολουθεί μόνο τους γειτονικούς κόμβους και δεν καθιερώνει μια σειρά από μονοπάτια για να φτάσει στον προορισμό του. Χρησιμοποιεί επίσης το Route Discovery και το Route Maintenance, όπως το DSR.



Εικόνα 11: Δρομολόγηση σε ένα AODV πρωτόκολλο

Route Discovery:

Ένας κόμβος προέλευσης στέλνει ένα μήνυμα εκπομπής σε κάθε γειτονικό κόμβο, εάν δεν υπάρχει η διαδρομή τότε είναι διαθέσιμη για τον επιθυμητό προορισμό που περιέχει source address, source sequence number, destination address, destination sequence number,

broadcast ID. Δύο δείκτες, όπως ο προς τα εμπρός και ο προς τα πίσω δείκτης είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της ανακάλυψης διαδρομής. Δείκτης προώθησης παρακολουθείται από τους ενδιάμεσους κόμβους, καθώς το μήνυμα διαβιβάζεται στον κόμβο προορισμού. Τελικά, όταν το αίτημα διαδρομής του μηνύματος φτάσει στον κόμβο προορισμού, τότε το μήνυμα απάντησης στον κόμβο προέλευσης στέλνεται μέσω των ενδιάμεσων κόμβων με τον πίσω δείκτη να παρακολουθεί τους κόμβους. Το κύριο χαρακτηριστικό του AODV που το διαφοροποιούν από το DSR είναι η ακολουθία αριθμών ο οποίος χρησιμοποιείται για την επιβεβαίωση της διαδρομής με τον προορισμό.

Route Maintenance:

Υπάρχουν τρεις τύποι μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ πηγής και προορισμού, error message, hello message and time out message. Το error message εξασφαλίζει ότι αυτό το μήνυμα θα μεταδοθεί σε όλους τους κόμβους, γιατί όταν ένας κόμβος παρατηρεί μια αποτυχημένη σύνδεση θα διαδώσει το μήνυμα αυτό προς όλους τους κόμβους που καταλήγουν στον κόμβο πηγή.

Το hello message εξασφαλίζει αν το μήνυμα λήφθηκε κατά την προώθησή του ή κατά την επιστροφή του.

Το time out message εγγυάται την διαγραφή της σύνδεσης, όταν δεν υπάρχει δραστηριότητα για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα μεταξύ της πηγής και του κόμβου προορισμού.

Κύρια πλεονεκτήματα

- 1) είναι ένας αποδοτικός αλγόριθμος για κινητά ad hoc δίκτυα και είναι επεκτάσιμος
- 2) παίρνει λίγο χρόνο για σύγκλιση και είναι ένα πρωτόκολλο βρόχου και
- 3) γενικά τα μηνύματα αποτυχίας είναι λιγότερα σε σύγκριση με το DSR. Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι χρειάζεται τεράστιο bandwidth για τη διατήρηση του μηνύματος.[10]

2.3.2 Proactive πρωτόκολλα δρομολόγησης

Τα proactive πρωτόκολλα εξουσιοδοτούν τους κόμβους σε ένα ad-hoc κινητό δίκτυο ν' ανακαλύπτουν και να γνωρίζουν τις διαδρομές προς όλους τους πιθανούς προορισμούς του δικτύου έτσι ώστε, όταν πρέπει να διαβιβαστεί ένα πακέτο, να είναι ήδη γνωστή η διαδρομή που αυτό πρέπει ν' ακολουθήσει. Τα πρωτόκολλα της δεύτερης κατηγορίας υιοθετούν μια διαφορετική προσέγγιση με την οποία οι κόμβοι ανακαλύπτουν μόνο τις διαδρομές προς αυτούς τους προορισμούς, για τους οποίους γίνεται σχετική αίτηση εύρεσης μιας διαδρομής. Ένας κόμβος δεν χρειάζεται να γνωρίζει μια διαδρομή προς ένα

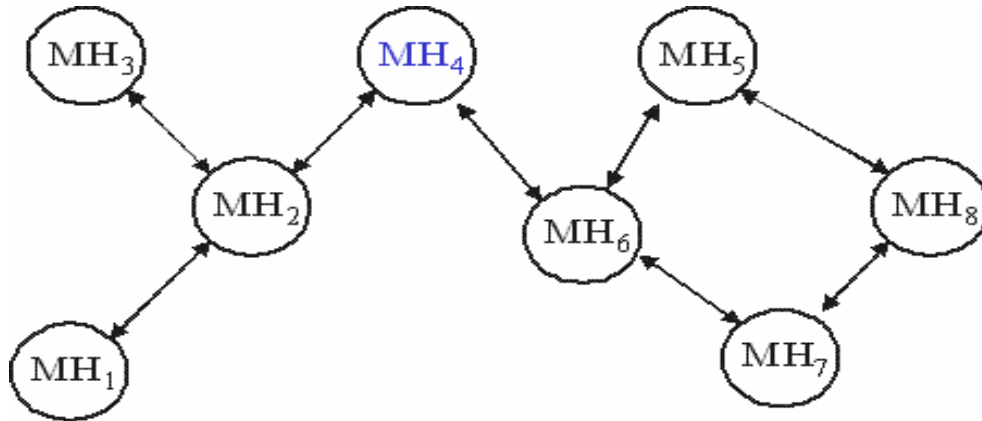
προορισμό, παρά μόνο όταν πακέτα δεδομένων τα οποία πρέπει να προωθήσει, έχουν σαν τελικό προορισμό τους τον κόμβο αυτό. Τα **proactive πρωτόκολλα** έχουν το πλεονέκτημα ότι ένας κόμβος υπόκειται στην ελάχιστη καθυστέρηση για την απόκτηση μιας διαδρομής, αφού αυτή αν υπάρχει θα είναι διαθέσιμη στους πίνακες δρομολόγησης του συγκεκριμένου κόμβου. Εν τούτης τα πρωτόκολλα αυτά δεν είναι αποδοτικά σε όλες τις περιπτώσεις και σενάρια χρήσης, δεδομένου ότι χρησιμοποιούν ένα ουσιαστικό μέρος των πόρων του δικτύου για την διατήρηση και ανανέωση των πληροφοριών δρομολόγησης που γνωρίζουν οι κόμβοι.[9]

2.3.2.1 DSDV(Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector)

Ο Destination-Sequenced Distance-Vector αλγόριθμος δρομολόγησης είναι βασισμένος στην ιδέα του κλασσικού αλγόριθμου Bellman-Ford περιέχοντας μερικές ουσιαστικές βελτιώσεις. Κάθε κινητός σταθμός περιέχει έναν πίνακα δρομολόγησης που περιλαμβάνει όλους τους διαθέσιμους προορισμούς, τον αριθμό των hops (βημάτων) που χρειάζονται για την επίτευξη του συγκεκριμένου προορισμού και τον αριθμό της ακολουθίας που δίνεται από τον κόμβο προορισμού. Ο αριθμός της ακολουθίας χρησιμοποιείται για να ξεχωρίσει κανείς μέσα στο δίκτυο τα μόνιμα μονοπάτια από αλλά καινούργια για την αποφυγή δημιουργίας επαναληπτικών κόμβων-loops. Περιοδικά οι σταθμοί αποστέλλουν τους πίνακες δρομολόγησης σε κάθε γειτονικό τους σταθμό. Επίσης ένας σταθμός αποστέλλει το πίνακα δρομολόγησης στην περίπτωση που πραγματοποιηθεί μια σημαντική αλλαγή στον πίνακα του από την τελευταία αναβάθμιση.

Επομένως, η αναβάθμιση μπορεί να χαρακτηριστεί και ως time-driven αλλά και ως event-driven. Οι αναβαθμίσεις των πινάκων δρομολόγησης μπορούν να αποσταλούν με δυο τρόπους: ως πλήρη αναβάθμιση “full-dump” ή ως μερική “incremental”. Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο ολόκληρος ο πίνακας δρομολόγησης αποστέλλεται στους γείτονες του δικτύου και είτε ολόκληρος είτε σε πακέτα. Σύμφωνα με τον δεύτερο τρόπο αποστέλλονται μόνο εκείνες οι έγγραφες του πίνακα δρομολόγησης στις οποίες έχουν επέλθει αλλαγές από την τελευταία αναβάθμιση του δικτύου. Σε περίπτωση που υπάρχει χώρος στο πακέτο αναβάθμισης τότε συμπεριλαμβάνονται και οι σειρές δρομολόγησης των κόμβων. Όταν το δίκτυο είναι σχετικά σταθερό, οι incremental αναβαθμίσεις στέλνονται για να αποφευχθεί η έξτρα κίνηση με αποτέλεσμα την αποφυγή των full dumps. Σε ένα δίκτυο που μεταβάλλεται γρήγορα, τα incremental πακέτα μπορούν να μεγαλώσουν απότομα με αποτέλεσμα την εμφάνιση συχνών full dumps. Το κάθε πακέτο αναβάθμισης εκτός από τον πίνακα δρομολόγησης περιέχει και έναν μοναδικό σειριακό αριθμό, ο οποίος δίνεται από την αποστολέα. Το μονοπάτι με τον μεγαλύτερο σειριακό αριθμό, δηλαδή το πιο πρόσφατο, χρησιμοποιείται. Στην περίπτωση που δυο μονοπάτια έχουν τον ίδιο σειριακό αριθμό, χρησιμοποιείται αυτό που έχει την μικρότερη διαδρομή. Οι σταθμοί βασισμένοι στην πρόσφατη ιστορία εκτιμούν την χρονική διάρκεια των διαδρομών. Τέλος, οι σταθμοί καθυστερούν την αποστολή μιας αναβάθμισης της δρομολόγησης ούτως ώστε να

αποτρέψουν εκείνες τις αναβαθμίσεις που θα πραγματοποιούνταν εάν μια καλύτερη διαδρομή εμφανιστεί νωρίτερα.



Εικόνα 12: DSDV

Πλεονεκτήματα:

- Εγγυάται ότι δεν υπάρχουν loops στους πίνακες δρομολόγησης χρησιμοποιώντας τα sequence numbers για να διαχωρίσει τις παλιές από τις νέες διαδρομές.
- Ενώ παρέχει μόνο ένα μονοπάτι για κάθε προορισμό, επιλέγει το μικρότερο μονοπάτι βασιζόμενος στον αριθμό των hops για τον προορισμό.
- Παρέχει δύο είδη πακέτων ενημέρωσης, το ένα από τα πιο σημαντικά μικρότερο από το άλλο και το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενημερώσεις επαύξησης έτσι ώστε να μη χρειάζεται να σταλεί ολόκληρος ο πίνακας δρομολόγησης για κάθε αλλαγή στην τοπολογία του δικτύου.
- Διατηρεί ενημερωμένες διαδρομές χρησιμοποιώντας τα sequence numbers

Μειονεκτήματα:

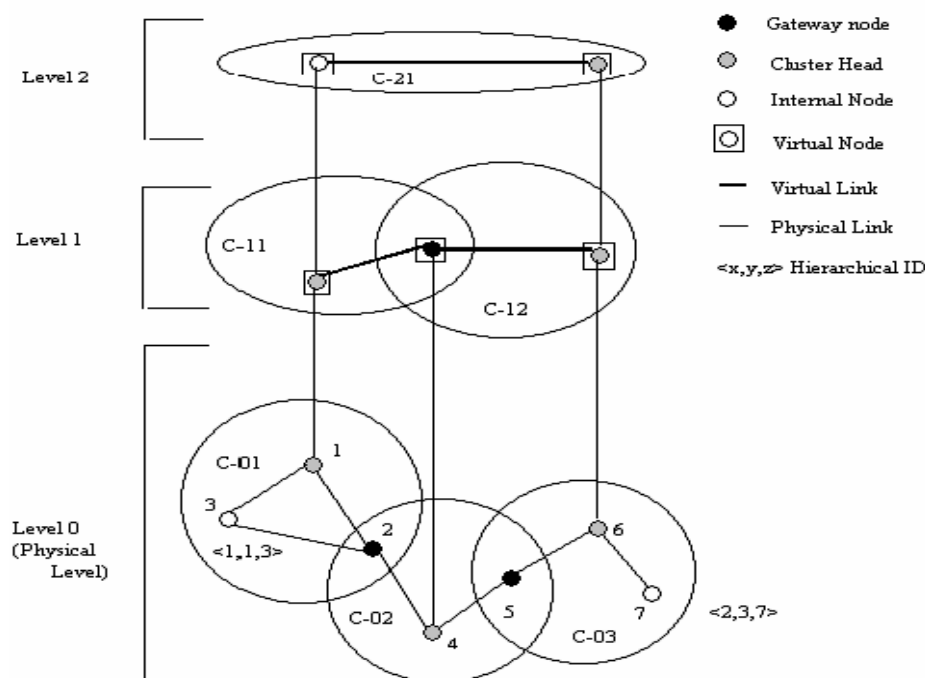
Ο DSDV είναι μη αποδοτικός γιατί:

- Απαιτεί εκπομπή περιοδικών ενημερώσεων ανεξάρτητα από τον αριθμό των αλλαγών στην τοπολογία του δικτύου, το οποίο έχει ως συνέπεια να περιορίζεται ο αριθμός των κόμβων που μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο, αφού το συνολικό κόστος του δικτύου αυξάνεται.

- Χρειάζεται κάποιο χρόνο έτσι ώστε να συγκλίνει πριν χρησιμοποιηθεί κάποια διαδρομή. Αυτός ο χρόνος σύγκλισης μπορεί να θεωρηθεί αμελητέος σ' ένα στατικό δίκτυο, όπου η τοπολογία δεν αλλάζει και τόσο συχνά, αλλά στα ad hoc δίκτυα η τοπολογία περιμένουμε να μεταβάλλεται πολύ συχνά. Έτσι ο χρόνος αυτός σύγκλισης μπορεί να σημαίνει ότι ένας μεγάλος αριθμός πακέτων έχουν απορριφθεί προτού βρεθεί μια κατάλληλη διαδρομή.

2.3.2.2 HSR (Hierarchical State Routing Πρωτόκολλα)

Σύμφωνα με τους Iwata et al (1999) το χαρακτηριστικό γνώρισμα των συγκεκριμένων πρωτοκόλλων είναι το πολυδιάστατο clustering και ο λογικός διαχωρισμός των κινητών κόμβων. Το δίκτυο σε αυτήν την περίπτωση είναι διαχωρισμένο σε ομάδες (clusters) και για κάθε ομάδα ένας ομαδάρχης (cluster-head) έχει καθοριστεί. Στα πρωτόκολλα HSR οι κεφαλές-cluster οργανώνουν τους εαυτούς τους σε clusters κ.λ.π. Οι κόμβοι ενός φυσικού cluster μεταδίδουν πληροφορίες της σύνδεσης τους. Η κεφαλή-cluster κάνοντας μια επισκόπηση της πληροφορίας των cluster του και την στέλνει στους γειτονικούς cluster-heads μέσω μιας εξόδου (gateway node).



Εικόνα 13: HSR πρωτόκολλο

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα, οι κεφαλές-cluster είναι μέλη του cluster που βρίσκεται σε ένα υψηλότερο επίπεδο και ανταλλάσσουν τις πληροφορίες των συνδέσεων τους καθώς και τις πληροφορίες που βρίσκονται σε κατώτερα επίπεδα. Ένας κόμβος σε κάθε επίπεδο διαχέει την πληροφορία που δέχεται στο χαμηλότερο του επίπεδο αφού ο αλγόριθμος έχει φτάσει σε εκείνο το επίπεδο. Έτσι το χαμηλότερο επίπεδο κατέχει μια ιεραρχική τοπολογία πληροφοριών. Ο κάθε κόμβος έχει μια ιεραρχική διεύθυνση. Ένας τρόπος για να αναθέσει κάποιος μια ιεραρχική διεύθυνση είναι οι αριθμοί των clusters στην

διαδρομή από την ρίζα προς τον κόμβο όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2. Μια έξοδος μπορεί να επιτευχθεί από την ρίζα μέσω πολλών μονοπατιών, και γι' αυτό τον λόγο η έξοδος μπορεί να έχει περισσότερες από μια ιεραρχικές διευθύνσεις. Μια ιεραρχική διεύθυνση είναι αρκετή για να διασφαλίσει την μεταφορά πληροφορίας από οπουδήποτε μέσα στο δίκτυο.

Επιπλέον, οι κόμβοι είναι διαχωρισμένοι σε λογικά υποδίκτυα και σε κάθε κόμβο έχει ανατεθεί μια λογική διεύθυνση <υποδίκτυο, host>. Κάθε υποδίκτυο έχει έναν location management server (LMS). Όλοι οι κόμβοι αυτού του υποδικτύου εγγράφουν την λογική τους διεύθυνση στον παραπάνω server. Ο server μεταδίδει την ιεραρχική τους διεύθυνση στα ανώτερα επίπεδα και η πληροφορία στέλνεται επίσης σε όλους τους servers. Το επίπεδο μεταφοράς στέλνει ένα πακέτο στο επίπεδο δικτύου μαζί με την λογική διεύθυνση του προορισμού. Το επίπεδο δικτύου βρίσκει την ιεραρχική διεύθυνση από την ιεραρχική διεύθυνση του προορισμού του server και μετέπειτα στέλνει το πακέτο σε αυτόν. The destination/ES LMS προωθεί το πακέτο στον προορισμό. Με το που η πηγή και ο προορισμός αναγνωρίσουν τις ιεραρχικές τους οδούς, μπορούν να παρακάμψουν τον server και να επικοινωνήσουν κατευθείαν. Από την στιγμή που οι ιεραρχικές διευθύνσεις χρησιμοποιούνται για δρομολόγηση, είναι προσαρμόσιμες στις αλλαγές του δικτύου.[10]

2.3.3 Hybrid πρωτόκολλα δρομολόγησης

Είναι πρωτόκολλα τα οποία συνδυάζουν τόσο τις proactive όσο και τις reactive τεχνικές, με στόχο τον καθορισμό του καλύτερου μονοπατιού μεταξύ οποιουδήποτε ζευγαριού από κόμβους. Οι κόμβοι οι οποίοι χρησιμοποιούν τους αλγόριθμους αυτούς αναβαθμίζουν τακτικά τις πληροφορίες που έχουν για κάποιους κόμβους στο δίκτυο (είτε επειδή είναι οι κοντινότεροι τους κόμβοι ή επειδή ανήκουν στην ίδια ομάδα) και αντιμετωπίζουν τους υπόλοιπους κόμβους με reactive τρόπο.

Ένα τέτοιο πρωτόκολλο είναι το Hazy Sighted Link State (**HSL**S). Το πρωτόκολλο αυτό αναπτύχθηκε από το ίδρυμα CUWiN για δίκτυα με πέραν των χιλιάδων κόμβων. Πρόκειται για ένα αλγόριθμο ο οποίος επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών διαμέσου μετάδοσης σημάτων με τη μέθοδο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με συχνότητες κάτω από αυτές του ορατού φωτός. Η επικοινωνία αυτή, στόχο έχει τη μετάδοση μηνυμάτων προς τους υπολογιστές που βρίσκονται εκτός του ορίου για απευθείας ραδιοεπαφή. Κάνει χρήση και των δύο ειδών δρομολόγησης για να περιορίσει τις αναβαθμίσεις του δικτύου σε χώρο και χρόνο.

Τα πλεονεκτήματα του πρωτοκόλλου αυτού είναι ότι καταφέρνει να πετύχει αρκετά καλές διαδρομές σε πραγματικό χρόνο και μειώνει ουσιαστικά τον αριθμό και το μέγεθος των μηνυμάτων που στέλνονται για να κρατήσουν το δίκτυο συνδεδεμένο σε αντίθεση με πολλά άλλα πρωτόκολλα.

2.3.3.1 Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Ζώνης (Zone Routing Protocol - ZRP)

Είναι ένα ιεραρχικό πρωτόκολλο όπου το δίκτυο διαιρείται σε ζώνες. Οι ζώνες λειτουργούν ανεξάρτητα μεταξύ τους. Το ZRP περιλαμβάνει δύο χωριστά πρωτόκολλα δρομολόγησης. Μια τέτοια ιεραρχική δομή δρομολόγησης είναι ευνοϊκή όσον αφορά την ασφάλεια, δεδομένου ότι ένας καλά σχεδιασμένος αλγόριθμος πρέπει να είναι σε θέση να περιέχει ορισμένα προβλήματα σε μικρή μερίδα της ιεραρχίας αφήνοντας άλλες μερίδες απρόσβλητες. Το ZRP έχει μερικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που φαίνεται να το καθιστούν κάπως λιγότερο ευαίσθητο στις επιθέσεις δρομολόγησης. Η ιεραρχική οργάνωσή του κρύβει μερικές από τις πληροφορίες δρομολόγησης μέσα στις ζώνες. Το ZRP παρέχει κάποια μορφή ασφάλειας ενάντια στην αποκάλυψη της τοπολογίας δικτύων με τη διαίρεση της δρομολόγησης σε ζώνες, οι οποίες κρύβουν την εσωτερική οργάνωση.[11]

2.3.3.2 Landmark

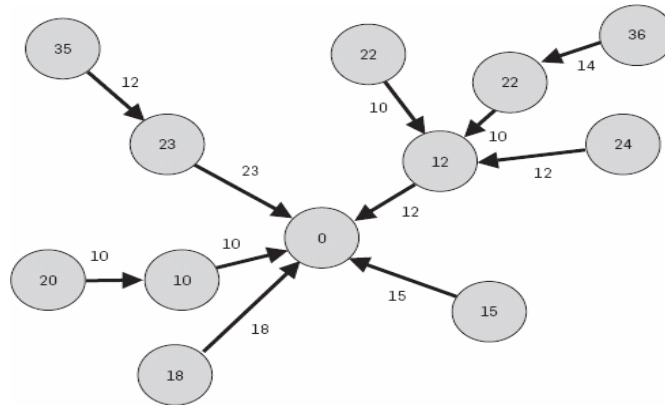
Το πρωτόκολλο δρομολόγησης (LANMAR) συνδυάζει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του FSR και της διαδικασίας δρομολόγησης Landmark. Η βασική καινοτομία είναι η χρήση ορόσημων για κάθε σύνολο κόμβων που κινούνται ως ομάδα (όπως, μια ομάδα στρατιωτών στο πεδίο της μάχης) προκειμένου να μειωθεί η συνολική καθυστέρηση δρομολόγησης. Όπως και στον FSR, οι κόμβοι ανταλλάσσουν πληροφορίες μόνο με τους γειτονικούς τους κόμβους. Οι διαδρομές στο πλαίσιο του Fisheye είναι ακριβείς, ενώ οι διαδρομές στις μακρινές ομάδες κόμβων «συνοψίζονται» (summarized) από τα αντίστοιχα ορόσημα. Ένα πακέτο που κατευθύνεται σε έναν μακρινό προορισμό στοχεύει αρχικά προς το αντίστοιχο ορόσημο της απομακρυσμένης ομάδας κόμβων και καθώς πλησιάζει πιο κοντά στον προορισμό χρησιμοποιεί τελικά μια πιο συγκεκριμένη διαδρομή που παρέχεται από το Fisheye. Στο αρχικό σχήμα ενσύρματων δικτύων με ορόσημα, η προκαθορισμένη διεύθυνση κάθε κόμβου απεικονίζει τη θέση του μέσα στην ιεραρχία και βοηθά την εύρεση μιας διαδρομής σε αυτόν. Κάθε κόμβος γνωρίζει τις διαδρομές προς όλους τους άλλους κόμβους μέσα στο ιεραρχικό σχήμα. Επιπλέον, κάθε κόμβος γνωρίζει τις διαδρομές προς τα διάφορα "ορόσημα" σε διαφορετικά ιεραρχικά επίπεδα. Η αποστολή πακέτων είναι σύμφωνη με την ιεραρχία ορόσημων και η πορεία καθορίζεται από την ιεραρχία υψηλότερου επιπέδου στα χαμηλότερα επίπεδα καθώς ένα πακέτο πλησιάζει προς τον προορισμό.

Το Lanmar δανείζεται την έννοια των ορόσημων για να παρακολουθήσει τα λογικά υποδίκτυα. Ένα υποδίκτυο αποτελείται από μέλη που έχουν κοινά ενδιαφέροντα και είναι πιθανόν να κινηθούν σαν "ομάδα" (όπως στρατιώτες στο πεδίο μάχης, ή μια ομάδα

σπουδαστών). Ένας κόμβος "ορόσημων" εκλέγεται σε κάθε υποδίκτυο. Το ίδιο το σχέδιο δρομολόγησης είναι τροποποιημένη έκδοση του FSR. Η κύρια διαφορά όμως είναι ότι ο πίνακας δρομολόγησης του FSR περιέχει όλους τους κόμβους στο δίκτυο, ενώ ο πίνακας δρομολόγησης στο LANMAR περιλαμβάνει μόνο τους κόμβους άμεσου ενδιαφέροντος και τους κόμβους ορόσημων (landmark nodes). Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα βελτιώνει πολύ τη κλιμάκωση του πρωτοκόλλου με τη μείωση του μεγέθους των πινάκων δρομολόγησης και την συνολικής κυκλοφορίας των δεομένων στο δίκτυο. Όταν ένας κόμβος πρέπει να αναμεταδώσει ένα πακέτο, εάν ο προορισμός είναι ένας από τους γείτονες του, η διεύθυνση βρίσκεται στον πίνακα δρομολόγησης και το πακέτο διαβιβάζεται άμεσα. Διαφορετικά, το υποδίκτυο που πιθανά βρίσκεται ο προορισμός αναζητάτε και το πακέτο καθοδηγείται προς το αντίστοιχο ορόσημο εκείνου του υποδικτύου. Το πακέτο εντούτοις δεν είναι αναγκαίο να περάσει μέσω του κόμβου ορόσημου αλλά μπορεί να προωθηθεί άμεσα στον προορισμό, μόλις φτάσει κοντά στο συγκεκριμένο υποδίκτυο. Η ανταλλαγή ανανεωμένων πληροφοριών δρομολόγησης στο LANMAR είναι παρόμοια με του FSR. Κάθε κόμβος ανταλλάσει περιοδικά πληροφορίες τοπολογίας με τους γείτονες του. Σε κάθε αναπροσαρμογή, ο κόμβος στέλνει τις νέες καταχωρήσεις στο πεδίο Fesheye του, συμπεριλαμβάνοντας επίσης στο μήνυμα αυτό ένα διάνυσμα απόστασης με μέγεθος ίσο με τον αριθμό των λογικών υποδικτύων (δηλ, των κόμβων ορόσημων). Μέσω αυτής της διαδικασίας ανταλλαγής, οι καταχωρήσεις στους πίνακες δρομολόγησης με τους μεγαλύτερους αριθμούς ακολουθίας αντικαθιστούν αυτούς με τους μικρότερους.[12]

2.3.4 Collection Tree Πρωτόκολλο Δρομολόγησης

Το CollectionTreeProtocol (CTP), είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων από έναν ή περισσότερους αισθητήρες σε ένα ή περισσότερους κόμβους. Όπως υποδηλώνει το όνομά του το CTP βασίζεται σε μία τοπολογία δέντρου όπου κάποιοι κόμβοι δηλώνονται ως ρίζες δημιουργώντας έτσι ισάριθμα δέντρα και προκειμένου ένας κόμβος να στείλει ένα πακέτο σε μία ρίζα δηλώνει το επόμενο hop υπονοώντας έτσι τη ρίζα που επιθυμεί.



Εικόνα 14: Collection tree protocol.

Η λειτουργία όμως το CTP βασίζεται σε κάποιες βασικές υποθέσεις για το *Data Link Layer*. Οι υποθέσεις αυτές είναι ότι το DLL παρέχει διεύθυνση για broadcast επικοινωνία, σύγχρονη επιβεβαίωση για unicast πακέτα, πεδίο για υποστήριξη πρωτοκόλλων ανώτερου επιπέδου και πεδία για τις διευθύνσεις του αποστολέα και του παραλήπτη. Σημαντικό είναι ότι το CTP σχεδιάστηκε για χαμηλή κίνηση πακέτων και παρόλο που έχει διάφορους μηχανισμούς αξιόπιστης παράδοσης πακέτων, δεν εγγυάται 100% παράδοση. Ο παράγοντας ποιότητας του CTP είναι το *expected transmissions* (ETX) το οποίο δηλώνει τον αναμενόμενο αριθμό μεταδόσεων που απαιτούνται προτού το πακέτο φτάσει εγγυημένα στον προορισμό του. Για μία διαδρομή το ETX είναι το άθροισμα των ενδιάμεσων ζεύξεων.

Σημαντικό πρόβλημα που παρουσιάζει το CTP είναι οι ενδεχόμενοι βρόχοι που μπορεί να παρουσιαστούν και για να τους αντιμετωπίσει χρησιμοποιεί δύο μηχανισμούς. Πρώτον, κάθε CTP πακέτο περιέχει το ETX του εκάστοτε κόμβου και σε περίπτωση που ένας κόμβος λάβει πακέτο με ETX μικρότερο από το δικό του τότε υποδηλώνεται ασυνέχεια στο δέντρο. Στην περίπτωση αυτή εκπέμπεται ένα αναγνωριστικό σήμα (beacon) προκειμένου να το λάβει ο κόμβος που έστειλε το πακέτο και να προσαρμόσει κατάλληλα την διαδρομή. Ο δεύτερος μηχανισμός είναι να αγνοούνται διαδρομές με ETX μεγαλύτερο από μία μέγιστη τιμή. Ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να εμφανιστεί στο CTP είναι η διπλή αποστολή ενός πακέτου. Αυτό μπορεί να γίνει αν ο παραλήπτης ενός πακέτου στείλει επιβεβαίωση η οποία δεν ληφθεί από τον αποστολέα με αποτέλεσμα να ξανασταλθεί το πακέτο με αποτέλεσμα ο παραλήπτης να το λάβει για δεύτερη φορά. Επειδή όμως οι βρόχοι σε συνδυασμό με τα διπλά πακέτα μπορεί να οδηγήσουν σε ακύρωση πακέτων, το πρωτόκολλο εισάγει ένα πεδίο *time has lived-THL* το οποίο προσαυξάνει με κάθε αποστολή από έναν κόμβο στον άλλον αλλά όχι από επαναποστολές πακέτων.

Τελικά το data frame του CTP αποτελείται από τα εξής πεδία:

- P (1bit): *Routing Pull*. Το bit αυτό δίνει τη δυνατότητα σε κόμβους να ζητήσουν πληροφορίες διαδρομών από άλλους κόμβους. Αν κάποιος κόμβος λάβει πακέτο με ενεργό το bit αυτό τότε θα πρέπει να στείλει ένα *routing frame* στο άμεσο μέλλον.
- C (1bit): *Congestion Notification*. Αν ένας κόμβος αγνοήσει ένα πακέτο data frame τότε στο επόμενο πακέτο που θα στείλει θα πρέπει να ενεργοποιήσει το bit αυτό.

- **THL (8bit):** *Time Has Lived*. Όταν ένας κόμβος δημιουργήσει ένα πακέτο θέτει το THL στη τιμή 0 ενώ οι επόμενοι κόμβοι που θα το λάβουν θα το προσαυξήσουν κατά μία μονάδα. Όταν φτάσει στην τιμή 255 τότε επανέρχεται στο 0.
- **ETX (16bit):** Ο γνωστός παράγοντας ποιότητας. Έχει την τιμή του ETX της διαδρομής ενώ σε περίπτωση που ένας κόμβος λάβει πακέτο με ETX μικρότερο από το δικό του τότε θα πρέπει να στείλει άμεσα ένα *routing frame*.
- **Origin (16bit):** Η διεύθυνση του κόμβου που ξεκίνησε την αποστολή του πακέτου.
- **Seqno (8bit):** Origin Sequence Number. Το γνωστό sequence number του πακέτου το οποίο καθορίζεται από τον δημιουργό του πακέτου.
- **Collect id (8bit):** Αναγνωριστικό για το πρωτόκολλο υψηλότερου επιπέδου. Καθορίζεται από τον δημιουργό του πακέτου.
- **Data:** Τα χρήσιμα δεδομένα του πακέτου τα οποία μπορεί να είναι από το μηδέν ή και περισσότερα bytes.
Ο συνδυασμός origin-seqno-collect_id δηλώνουν ένα μοναδικό origin πακέτο. Μαζί με το THL δηλώνει ένα packet instance.[3]

2.3.5 Leach πρωτόκολλο δρομολόγησης

Το LEACH είναι ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί συμπλέγματα WS. Εκτελείται σε δύο φάσεις:

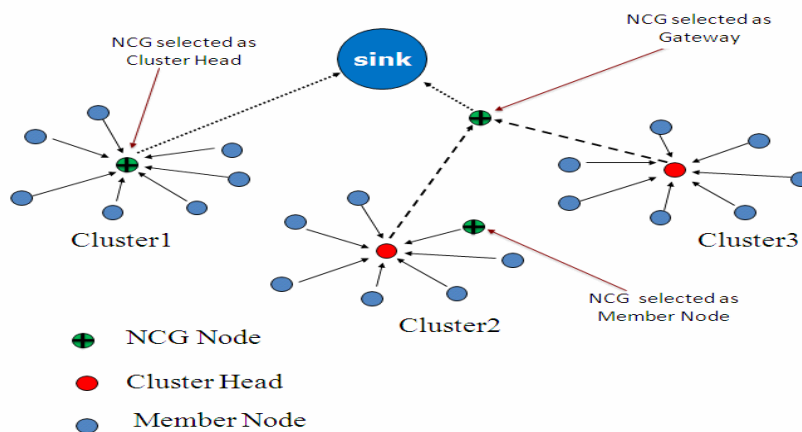
1. Τη φάση οργάνωσης του δικτύου σε συμπλέγματα (setup phase). Σε αυτήν τη φάση οι WS οργανώνονται σε συμπλέγματα και ένας κόμβος σε κάθε σύμπλεγμα επιλέγεται ως επικεφαλής. Η επιλογή των κόμβων που θα λειτουργήσουν ως επικεφαλής γίνεται με βάση έναν καταναμημένο, πιθανολογικό αλγόριθμο: Ο στόχος είναι να υπάρχουν κατά μέσον όρο P% κόμβοι που λειτουργούν ως επικεφαλής. Το P% προκύπτει με βελτιστοποίηση ανάλογα με την πυκνότητα των κόμβων στο δίκτυο. Στη συνέχεια, κάθε επικεφαλής στέλνει μηνύματα στους γειτονικούς του

κόμβους με τα οποία τους ενημερώνει ότι είναι κόμβος-επικεφαλής. Οι WS επιλέγουν το σύμπλεγμα στο οποίο θα ενσωματωθούν με βάση την ισχύ αυτών των ενημερωτικών μηνυμάτων. Τέλος, με βάση το πλήθος των κόμβων που ενσωματώνονται σε ένα σύμπλεγμα ο αντίστοιχος επικεφαλής καταστρώνει ένα TDMA (Time Division Multiple Access) σχήμα για να διαχειρισθεί τοπικά τις εκπομπές.

2. Τη φάση σταθερής κατάστασης (steady-state phase). Στη φάση αυτή όλοι οι WS αποστέλλουν τα δεδομένα τους στους επικεφαλής των συμπλεγμάτων όπου ανήκουν με βάση το 47 εγκατεστημένο TDMA σχήμα πολλαπλής πρόσβασης. Όταν οι επικεφαλής των συμπλεγμάτων έχουν λάβει τα δεδομένα από όλες τις ενεργές πηγές, τα προωθούν στον κόμβο-συλλέκτη. Η διαδικασία της συλλογής των δεδομένων για το πρωτόκολλο LEACH φαίνεται στο Σχ.3.3. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν η απόσταση μεταξύ ενός κόμβου επικεφαλής και του κόμβου-συλλέκτη είναι μεγάλη, η κατανάλωση ενέργειας για την επικοινωνία τους μπορεί να είναι σημαντική. Για τον περιορισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας οι WS είναι δυνατό να τίθενται σε κατάσταση sleep μέχρι τη χρονοσχισμή όπου

θα είναι η σειρά τους να εκπέμπουν. Από τη ρύθμιση αυτή εξαιρούνται φυσικά οι WS που λειτουργούν ως επικεφαλής αφού οι κεραιές τους πρέπει να είναι μονίμως ενεργοποιημένες για να λαμβάνουν δεδομένα.

Το πρωτόκολλο LEACH είναι πλήρως καταναμημένο και έχει υψηλότερη απόδοση από τα περισσότερα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν συμπλέγματα WS. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα υλοποίησης οποιασδήποτε συνάρτησης συνάθροισης. Ωστόσο, το βασικό μειονέκτημα του πρωτοκόλλου είναι η αδυναμία του να αντεπεξέλθει σε ιδιαίτερος δυναμικά περιβάλλοντα. Αυτό οφείλεται στην ανάγκη ανταλλαγής μεγάλου πλήθους μηνυμάτων και, επομένως, στην υψηλή κατανάλωση ενέργειας για το σχηματισμό των συμπλεγμάτων.[13]

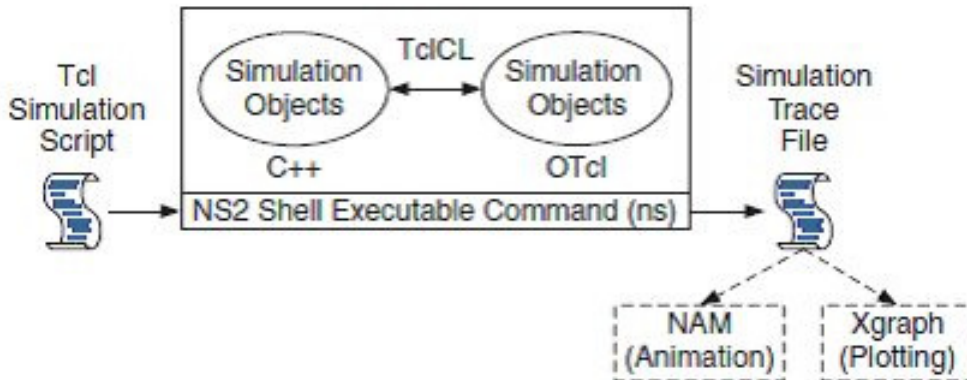


Εικόνα 15: Leach protocol

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: ΕΞΟΜΟΙΩΤΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ PROBABILISTIC ΚΑΙ WISERROUTE

3.1.1 Network Simulator (NS 2-3)

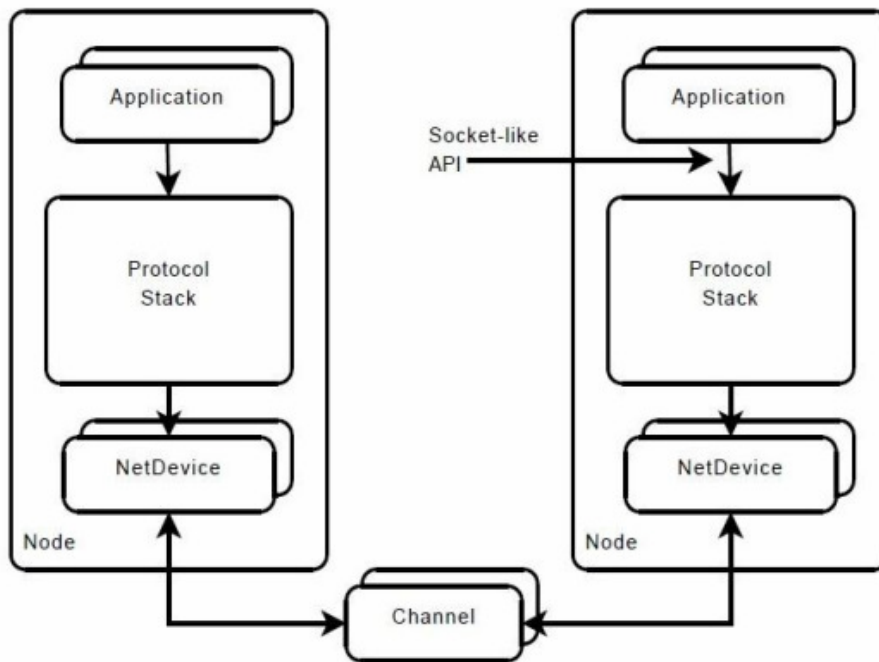
Το Network Simulation 2, επίσης γνωστό και ως ns-2, βασίστηκε σε ένα πρόγραμμα με ονομασία Real Network Simulator που ξεκίνησε το 1989. Το ns-2 είναι προσομοιωτής διακριτών γεγονότων (discrete event simulator) που επιτρέπει την προσομοίωση πρωτοκόλλων TCP, δρομολόγησης (routing) και πολλαπλής εκπομπής (multicast) σε ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα. Δεν παρέχει εγγενή υποστήριξη για δίκτυα OBS, αλλά επιτρέπει τη ανάπτυξη επεκτάσεων σε γλώσσα C++. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει τις παραμέτρους του δικτύου, όπως την τοπολογία και το φορτίο, μέσω της γλώσσας OTcl (MIT Object Tcl scripting language) ενώ μπορεί να κάνει και χρήση γραφικού περιβάλλοντος (GUI), όπως το NS WorkBench, με δυνατότητες drag-and-drop και άλλα. Η προσομοίωση με το ns-2 δημιουργεί ένα αρχείο (trace file) με την τοπολογία και 24τα ίχνη των πακέτων που διακινήθηκαν. Το αρχείο στη συνέχεια πρέπει να εισαχθεί σε ειδικό λογισμικό, όπως το Nam (Network Animator), ώστε να αναπαραχθεί και να αναλυθεί η προσομοίωση. Άρα δεν είναι εφικτή η προβολή της προσομοίωσης σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, μαζί με το λογισμικό παρέχεται ένα επιπλέον πρόγραμμα με ονομασία xgraph, με δυνατότητες δημιουργίας γραφικών αναπαραστάσεων από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Το ns-2 λειτουργεί συνήθως σε λειτουργικό Linux, FreeBSD, Solaris και Mac OSX, αλλά είναι εφικτή η εγκατάστασή του και σε Microsoft Windows, κάνοντας χρήση της εφαρμογής Cygwin.



Basic architecture of NS.

Εικόνα 16:Αρχιτεκτονική NS-2

Ο ns-3 είναι ένας προσομοιωτής δικτύου διακριτών τιμών του οποίου ο πυρήνας των μοντέλων προσομοίωσης υλοποιείται σε C++. Ο ns-3 είναι χτισμένος ως μία βιβλιοθήκη η οποία μπορεί να είναι στατικά ή δυναμικά συνδεδεμένη σε ένα C++ κύριο πρόγραμμα που καθορίζει την τοπολογία προσομοίωσης και ξεκινά τον προσομοιωτή. Επίσης, εξάγει σχεδόν όλο το σύνολο των API σε Python, επιτρέποντας στα υποπρογράμματα Python την εισαγωγή μιας “ns-3” μονάδας με τον ίδιο τρόπο όπως στη C++. Ο στόχος του ns-3 είναι να δημιουργήσει ένα ανοιχτό περιβάλλον προσομοίωσης για την έρευνα δικτύωσης που θα προτιμηθεί από την ερευνητική κοινότητα. Αυτό σημαίνει κυρίως δύο πράγματα.



Εικόνα 17: Αρχιτεκτονική NS-3

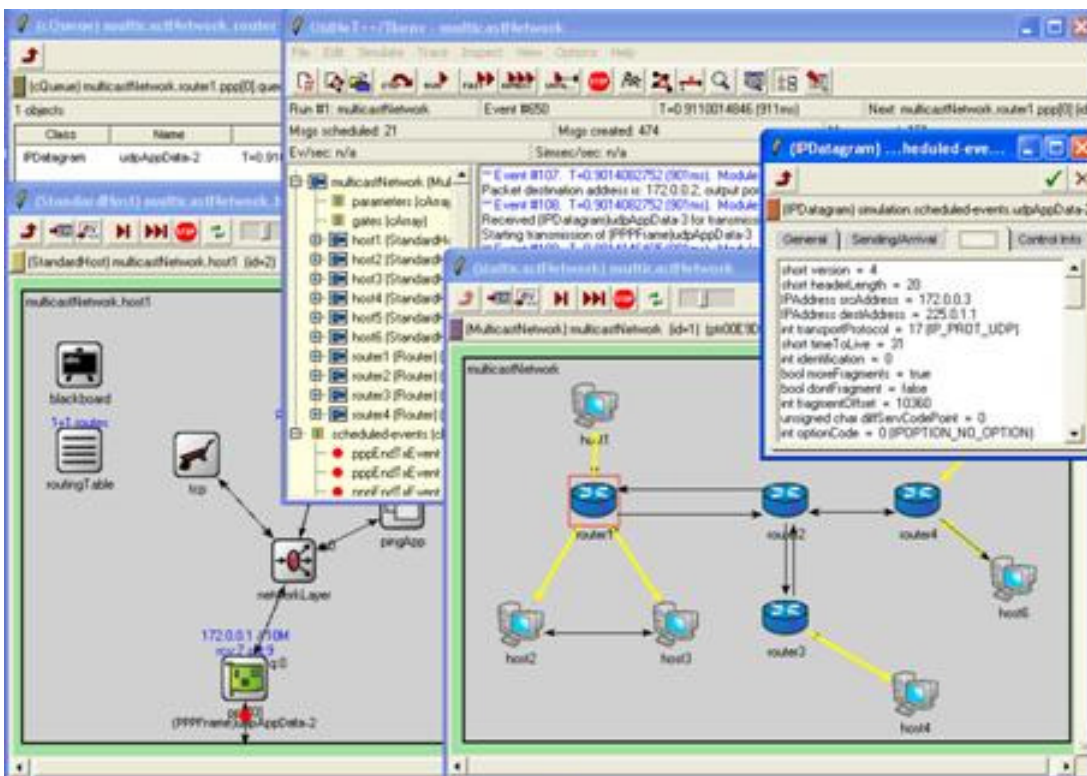
- Θα πρέπει να ευθυγραμμιστούν με τις ανάγκες προσομοίωσης της σύγχρονης έρευνας και δικτύωσης
- Θα πρέπει να ενθαρρύνουν τη συμβολή της κοινότητας, την αξιολόγηση από ομότιμους και την επικύρωση του λογισμικού.

Δεδομένου ότι η διαδικασία της δημιουργίας ενός προσομοιωτή δικτύου που περιέχει επαρκή αριθμό υψηλής ποιότητας επικυρωθεί, δοκιμάζεται και επειδή τα ενεργά μοντέλα απαιτούν πολλή δουλειά, το έργο του ns-3 δίνει το φόρτο εργασίας σε μία μεγάλη κοινότητα χρηστών και προγραμματιστών.[14]

3.1.2 Omnet++

Τα περισσότερα ερευνητικά προγράμματα παγκοσμίως στον ακαδημαϊκό αλλά και βιομηχανικό τομέα χρησιμοποιούν προσομοιώσεις, προκειμένου να αξιολογήσουν τα προϊόντα τους πριν τα δημοσιεύσουν ή τα εισάγουν στην αγορά. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων αυτών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον προσομοίωσης στο οποίο εξετάζονται, για παράδειγμα από την τοπολογία του δικτύου και από τα μοτίβα κίνησης (traffic patterns) που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις. Ν για παράδειγμα, η τοπολογία που θα χρησιμοποιηθεί είναι πολύ μικρή και δεν αντανακλά τα χαρακτηριστικά των πραγματικών τοπολογιών, το προϊόν που θα αναπτυχθεί μπορεί να αποτύχει όταν

ενσωματωθεί σε πραγματικά δίκτυα. Επιπρόσθετα, δεδομένου ότι στα πραγματικά δίκτυα υπάρχουν κακόβουλοι κόμβοι, θα πρέπει το περιβάλλον προσομοίωσης να μπορεί να ενσωματώσει τα χαρακτηριστικά και τις συνέπειες μίας επίθεσης. Η δημιουργία ρεαλιστικών και σύνθετων περιβαλλόντων προσομοίωσης θα πρέπει να είναι εύκολη. Επιπλέον αυτή η διαδικασία θα πρέπει να γίνεται αυτόματα με την χρήση ειδικών εργαλείων με σκοπό την εξοικονόμηση χρόνου και την αποφυγή λαθών. Αυτό εξασφαλίζει βέβαια ότι τα αποτελέσματα των διάφορων ερευνητικών δραστηριοτήτων θα μπορούν να συγκριθούν και μεταξύ τους. Το λογισμικό OMNeT++ είναι ένα εκτενές περιβάλλον ανάπτυξης και προσομοίωσης, που υποστηρίζει τη μοντελοποίηση δικτύων επικοινωνιών και κατανομημένων συστημάτων. Το περιβάλλον προσομοίωσης που παρέχεται, βασίζεται στην αρχή της προσομοίωσης διακριτών γεγονότων (discrete event simulation).



Εικόνα 18:Αρχιτεκτονική omnet

Το λογισμικό OMNeT++ επιτρέπει την εκτέλεση προσομοιώσεων, μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η ανάλυση της συμπεριφοράς και της επίδοσης των μοντελοποιημένων συστημάτων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

- Μοντελοποίηση της κίνησης των τηλεπικοινωνιακών δικτύων,
- Μοντελοποίηση πρωτοκόλλων,
- Μοντελοποίηση δικτύων αναμονής (queueing networks),
- Μοντελοποίηση πολυεπεξεργαστών (multiprocessors),

- Επικύρωση αρχιτεκτονικών υλικού (hardware architectures),
- Αξιολόγηση των επιδόσεων πολύπλοκων συστημάτων λογισμικού,
- Μοντελοποίηση οποιουδήποτε άλλου συστήματος, όπου μπορεί να εφαρμοστεί η αρχή των σειριακών εκτελούμενων γεγονότων.

Μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά του OMNeT++ είναι [ΠΧ]:

- **Ιεραρχικά μοντέλα:** Τα μοντέλα του OMNeT++ έχουν ιεραρχική δομή, όπως ακριβώς και τα πραγματικά συστήματα τα οποία μοντελοποιούν.
- **Αντικειμενοστραφής χαρακτήρας:** Τα συστήματα στο OMNeT++ αποτελούνται από αντικείμενα, το καθένα από τα οποία έχει τις δικές του ιδιότητες (attributes). Τα αντικείμενα ανήκουν σε κλάσεις. Οι κλάσεις μπορούν να επεκτείνονται ή να «εξειδικεύονται».
- **Ειδίκευση στα Δίκτυα Επικοινωνιών και τα Πληροφοριακά συστήματα:** Το OMNeT++ ευνοεί τη μοντελοποίηση συστημάτων πληροφορικής και επικοινωνιών, παρέχοντας κατάλληλες δομές και αρχιτεκτονικές. Οι μονάδες επικοινωνούν μέσω της ανταλλαγής μηνυμάτων. Τα μηνύματα μπορούν να περιέχουν τις αυθαίρετα σύνθετες δομές δεδομένων. Οι μονάδες μπορούν να στείλουν τα μηνύματα είτε άμεσα στον προορισμό τους είτε κατά το μήκος μιας προκαθορισμένης πορείας, μέσω των πυλών και των συνδέσεων.
- **Γραφικό Περιβάλλον:** Η διαδικασία της μοντελοποίησης διευκολύνεται μέσω του διαδραστικού γραφικού περιβάλλοντος που παρέχεται.
- **Ευελιξία:** Με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού υψηλού επιπέδου C++, το OMNeT++ δίνει τη δυνατότητα να μοντελοποιηθούν με ευελιξία όλα τα πρωτόκολλα, οι αλγόριθμοι και οι τεχνολογίες.
- **Αυτόματη παραγωγή προσομοιώσεων:** Τα μοντέλα μεταγλωττίζονται αυτόματα σε εκτελέσιμες προσομοιώσεις.
- **Ενσωματωμένα Στατιστικά:** Το OMNeT++ διαθέτει μία σειρά από ενσωματωμένα στατιστικά μεγέθη τα οποία μπορούν να συλλεχθούν κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων για την μέτρηση συγκεκριμένων μεγεθών. Παράλληλα, ο χρήστης μπορεί να ορίσει τα δικά του μεγέθη.
- **Εύκολη Αποσφαλμάτωση:** Με τη βοήθεια ενός εξελεγμένου διορθωτή λαθών (debugger) είναι δυνατή η εύκολη αναγνώριση και διόρθωση των σφαλμάτων.
- **Animation:** Μέσω του OMNeT++ μπορούν να παραχθούν γραφικά (animations) σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας. Τα γραφικά καθιστούν 105 δυνατή την οπτικοποίηση της συμπεριφοράς του συστήματος, μέσω της δυναμικής γραφικής απεικόνισης συγκεκριμένων γεγονότων που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης.

- **Εργαλεία Ανάλυσης:** Το OMNeT++ παρέχει κατάλληλα εργαλεία που επιτρέπουν την ανάλυση και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων.

3.1.2.1 Μοντελοποίηση των μεταδόσεων πακέτων

Τα δομικά στοιχεία ενός μοντέλου στο Omnet++ είναι τα modules. Τα modules θα τα χαρακτηρίζαμε ως αυτόνομες μονάδες οι οποίες επικοινωνούν με το πέρασμα μηνυμάτων. Τα ενεργά modules, αυτά δηλαδή που διαθέτουν κάποια λειτουργικότητα και τους αλγορίθμους, θα τα ονομάζαμε simple modules. Αυτά γράφονται σε C++ και χρησιμοποιούν τη βιβλιοθήκη προσομοίωσης. Το σημαντικότερο που πρέπει να κατανοήσουμε για τα simple modules είναι το γεγονός ότι είναι επαναχρησιμοποιήσιμα και μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους σχηματίζοντας σύνθετες οντότητες- τα compound modules. Το βάθος αυτής της ιεραρχίας δεν έχει όριο. Και τα simple και τα compound modules είναι στιγμιότυπα κάποιου τύπου module που έχει ορίσει ο χρήστης. Αυτά τα module types μπορούν να αποθηκευτούν σε ξεχωριστά αρχεία σχηματίζοντας βιβλιοθήκες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα projects.

3.1.2.2 Messages, gates, connections

Τα modules επικοινωνούν μεταξύ τους με την ανταλλαγή μηνυμάτων (messages). Σε πραγματικές προσομοιώσεις ένα μήνυμα μπορεί να αναπαριστά π.χ. ένα πλαίσιο ή ένα πακέτο σε δίκτυο υπολογιστών. Ένα μήνυμα μπορεί να περιέχει αφηρημένα δεδομένα και στέλνεται είτε μέσα από θύρες (gates) και συνδέσεις(connections) είτε κατευθείαν στον προορισμό τους. Όταν ένα μήνυμα στέλνεται από ένα module στον εαυτό του τότε το ονομάζουμε self message. Οι θύρες (gates) είναι οι διασυνδέσεις εισόδου και εξόδου των modules. Υπάρχουν τρεις τύποι: input, output και inout. Τα μηνύματα στέλνονται έξω μέσω των output gates και φτάνουν στο module σε μια input gate. Δύο θύρες συνδέονται μεταξύ τους με μια σύνδεση (connection). Σε μια

σύνδεση μπορούν να αντιστοιχηθούν τρεις παράμετροι για την ρεαλιστική μοντελοποίηση ενός δικτύου:

- Propagation delay – Αναπαραγωγή καθυστέρησης, δηλαδή ο χρόνος που καθυστερεί ένα μήνυμα όταν ταξιδεύει διαμέσου της σύνδεσης.
- Bit error rate – καθορίζει την πιθανότητα λάθους στη μετάδοση.
- Data rate – ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, καθορίζεται σε bits/sec.

3.1.2.3 Παράμετροι

Τα modules μπορούν να έχουν παραμέτρους. Οι παράμετροι μπορούν να αποδοθούν είτε στα αρχεία NED ή στα αρχεία ρυθμίσεων “omnet.ini”.Ακόμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσαρμόσουμε μία απλή συμπεριφορά αλλά και την παραμετροποίηση μιας τοπολογίας. Μπορούν να λάβουν string, αριθμητικές και λογικές

τιμές ή μπορεί να περιέχουν xml δεδομένα. Αριθμητικές τιμές περιλαμβάνουν εκφράσεις που χρησιμοποιούν άλλοι παράμετροι και λειτουργίες κλήσης C, τυχαίες μεταβλητές από διάφορες διανομές και οι τιμές εισροών από τον χρήστη. Οι αριθμητικοί παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή τοπολογιών με ευέλικτο τρόπο. Μέσα σε μία ένωση, οι παράμετροι μπορούν να καθορίσουν τον αριθμό των επιμέρους ενοτήτων, τον αριθμό πυλών και τον τρόπο που γίνονται οι εσωτερικές συνδέσεις.

3.1.2.4 Προγραμματίζοντας τους αλγόριθμους

Τα simple modules περιέχουν αλγόριθμους σε συναρτήσεις C++ οι οποίες συνδυάζονται με τις έτοιμες κλάσεις της βιβλιοθήκης προσομοίωσης. Τα αντικείμενα της προσομοίωσης, όπως modules, messages, queues, κ.α. αναπαρίστανται με έτοιμες κλάσεις που έχουν σχεδιαστεί να δουλεύουν μαζί αποτελεσματικά.

3.1.2.5 Δημιουργία και εκτέλεση προσομοίωσης

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε πως στο Omnet++ ένα μοντέλο αποτελείται από τα ακόλουθα συστατικά μέρη-αρχεία:

- Αρχεία NED: περιγράφουν τη δομή των modules με τις παραμέτρους, τις θύρες, κ.τ.λ
- Ορισμοί μηνυμάτων (.msg files). Χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των τύπων των μηνυμάτων και των πεδίων τους. Το Omnet++ τα μεταφράζει σε κλάσεις C++.
- Πηγαίος κώδικας των simple modules (αρχεία .h/.cc).

Οι γενικές αρχές λειτουργίας του προσομοιωτή είναι οι εξής: πρώτα τα .msg files μεταφράζονται σε κώδικα C++ και στην συνέχεια όλα τα πηγαία αρχεία μεταγλωττίζονται και συνδέονται με τον πυρήνα προσομοίωσης και την βιβλιοθήκη της διασύνδεσης χρήστη για να σχηματιστεί το εκτελέσιμο αρχείο. Στο τέλος φορτώνονται τα αρχεία .ned και διαβάζεται το αρχείο διαμόρφωσης (.ini). Η προσομοίωση ξεκινά. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης γράφονται σε αρχεία δεδομένων (vector files, scalar files) τα οποία μπορούν να αναλυθούν με τα εργαλεία του Omnet++ ή με κάποιο άλλο λογισμικό.[15]

3.1.3 Mixim

Mixim είναι ένα πλαίσιο OMNeT ++ μοντελοποίησης που δημιουργήθηκε για κινητά και σταθερά ασύρματα δίκτυα (ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, δίκτυα περιοχή του σώματος, ad-hoc δίκτυα, δίκτυα οχημάτων, κλπ). Προσφέρει λεπτομερή μοντέλα της μετάδοσης ραδιοφωνικών κυμάτων, εκτίμηση παρεμβολών, κατανάλωση ενέργειας και ασύρματα πρωτόκολλα MAC (π.χ. Zigbee). Ως εκ τούτου, το Mixim, είναι μια μίξη προσομοιωτή που συνδυάζει διάφορα πλαίσια προσομοίωσης που αναπτύχθηκαν για ασύρματες και κινητές

προσομοιώσεις στο OMNeT ++. Παρέχει λεπτομερή μοντέλα και πρωτόκολλα , καθώς και υποδομές στήριξης . Αυτά μπορούν να διαιρεθούν σε πέντε ομάδες:

Περιβάλλοντα Μοντέλα: Σε μια εικονική πραγματικότητα , μόνο τα σχετικά μέρη του πραγματικού κόσμου θα πρέπει να αντικατοπτρίζονται, όπως τα εμπόδια που παρακωλύουν την ασύρματη επικοινωνία.

Συνδεσιμότητα και κινητικότητα: όταν οι κόμβοι κινούνται, η επιρροή τους σε άλλους κόμβους του δικτύου ποικίλλει. Ο προσομοιωτής πρέπει να παρακολουθεί αυτές τις αλλαγές και να παρέχουν επαρκή γραφική αναπαράσταση .

Υποδοχή και σύγκρουση: Για τις ασύρματες προσομοιώσεις, κινήσεις των αντικειμένων και οι κόμβοι να έχουν μια επιρροή για τη λήψη του μηνύματος. Ο χειρισμός της παραλαβής είναι υπεύθυνος για την μοντελοποίηση πώς ένα μεταδιδόμενο σήμα αλλάζει την πορεία της προς τους δέκτες, λαμβάνοντας υπόψη τις μεταδόσεις των άλλων αποστολέων.

Πείραμα που υποστηρίζουν: Η υποστήριξη του πειραματισμού είναι απαραίτητη για να βοηθήσει τον ερευνητή να συγκρίνει τα αποτελέσματα με την ιδέα της κατάστασης και να τον βοηθήσει να βρουν ένα κατάλληλο πρότυπο για την εφαρμογή του και να υποστηρίξει διαφορετικές μεθόδους αξιολόγησης.

Βιβλιοθήκη πρωτοκόλλου: Τελευταίο, αλλά σημαντικό, μια πλούσια βιβλιοθήκη πρωτοκόλλου που να επιτρέπει στους ερευνητές να συγκρίνουν τις ιδέες τους με αυτά που έχουν ήδη υλοποιηθεί.

3.1.3.1 MAC protocols

Ένα MAC πρωτόκολλο έχει σχεδιαστεί για να λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με την κατανομή του μέσου για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων του συστήματος. Για ασύρματα συστήματα, κοινό μέσο είναι ο αέρας. Ένα πρωτόκολλο MAC πρέπει να αποφασίσει πότε ένας κόμβος πρέπει να στείλει μηνύματα, έτσι ώστε τα μηνυμάτά του να μην παρεμβαίνουν με τα μηνύματα των άλλων κόμβων. Επιπλέον - ειδικά για συσκευές χαμηλής ισχύος - το πρωτόκολλο MAC θα πρέπει να προσδιορίσει σε ποια χρονική στιγμή η ραδιενέργεια μπορεί να απενεργοποιηθεί για την αποφυγή του μέσου (το οποίο καταναλώνει ενέργεια), όταν δεν υπάρχουν άλλοι κόμβοι στην αποστολή. Υποστήριξη για τέτοια πρωτόκολλα MAC, είναι ειδικά σχεδιασμένο για τα δίκτυα αισθητήρων χαμηλού ρεύματος, βασίζεται στο MAC Simulator που έχει αναπτυχθεί από το TU Delft, αρχικά για εργασία με το πρωτόκολλο T-MAC. Μέσω της MAC Simulator, το Mixim προσφέρει μια μεγάλη ποικιλία από διαφορετικά πρωτόκολλα MAC περιλαμβάνοντας ένα σημαντικό ποσοστό στο χώρο του σχεδιασμού για τα δίκτυα αισθητήρων. Υπάρχουν δύο κατηγορίες για την οικοδόμηση του δικτύου αισθητήρων στα πρωτόκολλα MAC:

BaseMACLayer: Βασικό περιβάλλον Mixim στυλ layering, παρέχοντας αποκλειστικότητα των πακέτων, αλλά καμία άλλη λειτουργικότητα.

EyesMACLayer: Παρέχει μια υποστήριξη των λειτουργιών για τα MAC δίκτυα αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργιών υποστήριξης για ακρόαση χαμηλής ισχύος και αίσθηση περιόδου επιλογής, καθώς και την παραγωγή στατιστικών πληροφοριών σχετικά με τις επιδόσεις του MAC πρωτοκόλλου.[16]

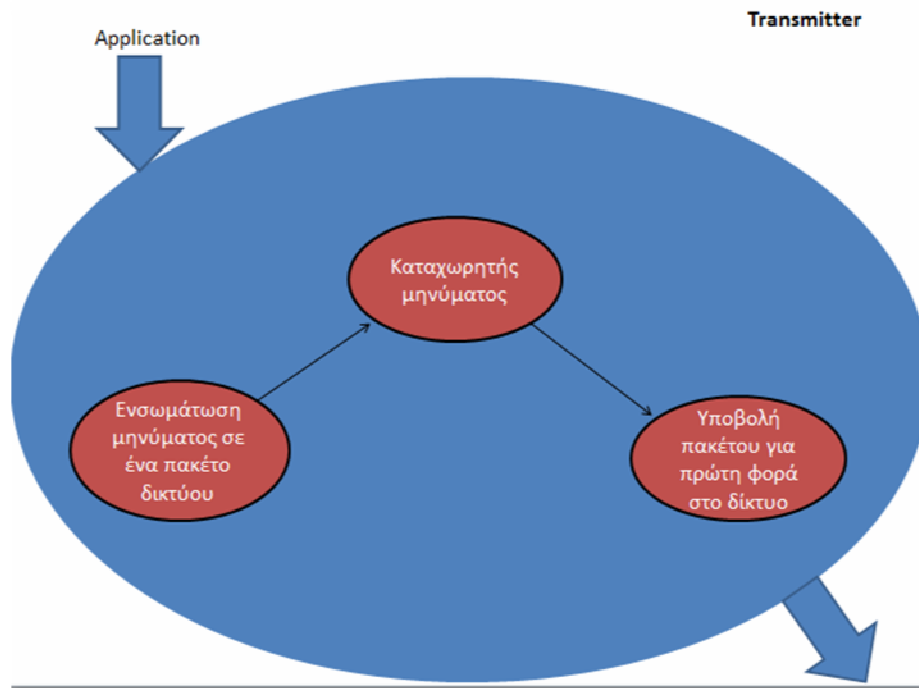
3.1.4 Castalia

Η Castalia είναι ένας προσομοιωτής ασύρματων δικτύων αισθητήρων για πρόωρη φάση δοκιμών αλγορίθμου-πρωτοκόλλου που χτίστηκε στα δίκτυα και τα διάχυτα προγράμματα υπολογιστών. Υποστηρίζει μοντέλα καναλιού και ραδιοκυμάτων, ένα βασικό στοιχείο είναι η ακριβή προσομοίωση WSN πρώιμης φάσης. Υποστηρίζει επίσης, ενισχυμένη μοντελοποίηση των συσκευών ανίχνευσης και άλλα συχνά παραμελημένα χαρακτηριστικά ενός WSN όπως το ρολόι του κόμβου μετακίνησης.[17]

3.1.5 OpNet

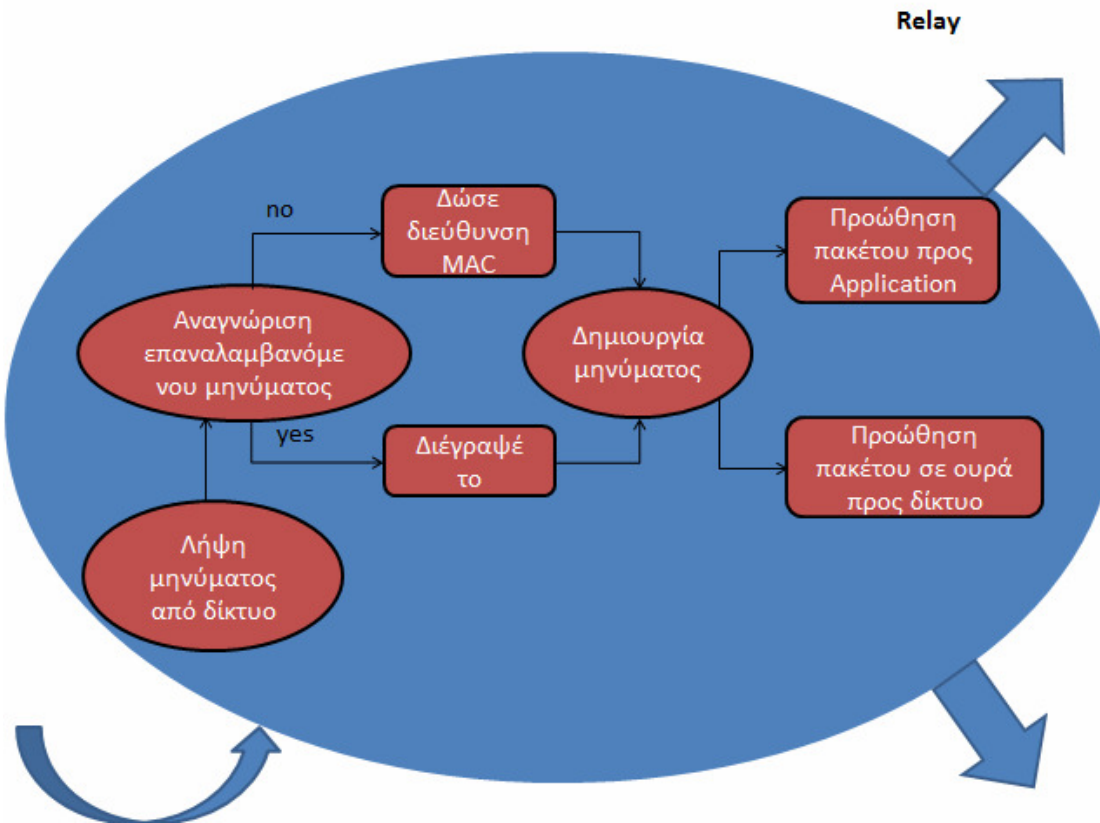
Το OPNET παρέχει δυνατότητες για δημιουργία πληρέστατων και μεγάλων δικτύων σχεδιασμένων μέχρι τη παραμικρή λεπτομέρεια, τα οποία μπορούμε να τα «στήσουμε» σχετικά εύκολα, να τα δοκιμάσουμε με χρήση πολλών σύγχρονων τεχνολογιών και να τα βελτιστοποιήσουμε γενικότερα. Αν και το OPNET σε διάφορες εκδόσεις του σαν ισχυρός προσομοιωτής δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να διαλέξει το είδος της δομής του δικτύου στο οποίο θα δουλέψει, το πιο διαδεδομένο μοντέλο είναι αυτό των δικτύων. Το μοντέλο κόμβων και το μοντέλο επεξεργασίας συμπληρώνουν τη βασική τριάδα των προαναφερθέντων ειδών αλλά επικεντρώνονται περισσότερο στη μοντελοποίηση εσωτερικών χαρακτηριστικών και λειτουργιών όπως δημιουργία δεδομένων, αποθήκευση κ.τ.λ. ή διαγράμματα πεπερασμένων καταστάσεων (finite state machines - FSMs) που ελέγχουν την εσωτερική λειτουργικότητα των αντικειμένων στο μοντέλο κόμβων. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι το OPNET λόγω της ευρείας γκάμας τεχνολογιών και δικτύων που ειδικεύεται παρέχει προηγμένες δυνατότητες στο χρήστη.[18]

3.2 Μελέτη των πρωτοκόλλων



Εικόνα 19: Διάγραμμα Ροής για τον Transmitter στο Probabilistic πρωτόκολλο.

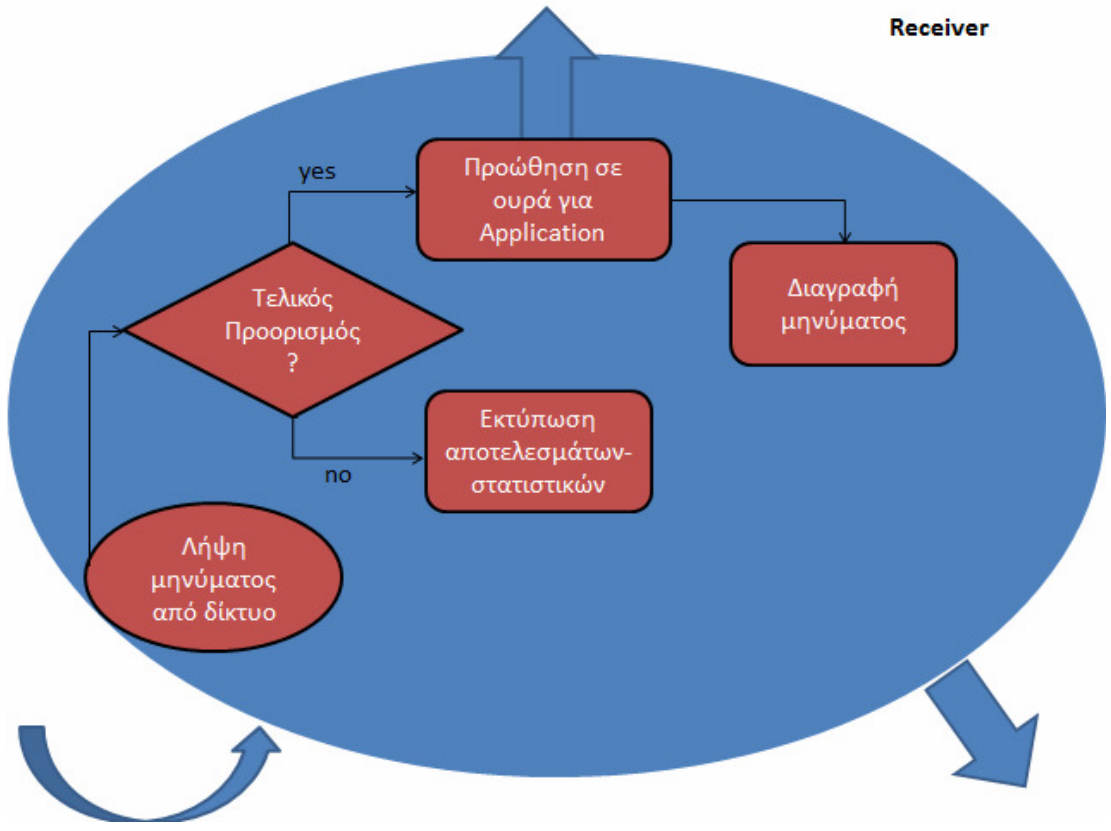
Σύμφωνα με την ανάλυση του κώδικα στην περίπτωση του probabilistic πρωτοκόλλου το πακέτο ακολουθεί τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο θα μελετήσουμε την περίπτωση που ο αποστολέας δέχεται το πακέτο. Όταν ο application στείλει το πακέτο τότε ένας καταχωρητής μηνύματος με το που δέχεται το μήνυμα από πάνω το ενσωματώνει σε ένα πακέτο δικτύου ο οποίος στη συνέχεια καλεί τον προωθητή μηνύματος ο οποίος εισάγει το πακέτο στην ουρά με καθυστέρηση, δεδομένου ότι το πρόγραμμα θα προωθήσει το μήνυμα για την πρώτη απόπειρα εκπομπής του.



Εικόνα 20: Διάγραμμα Ροής για τον Relay στο Probabilistic πρωτόκολλο.

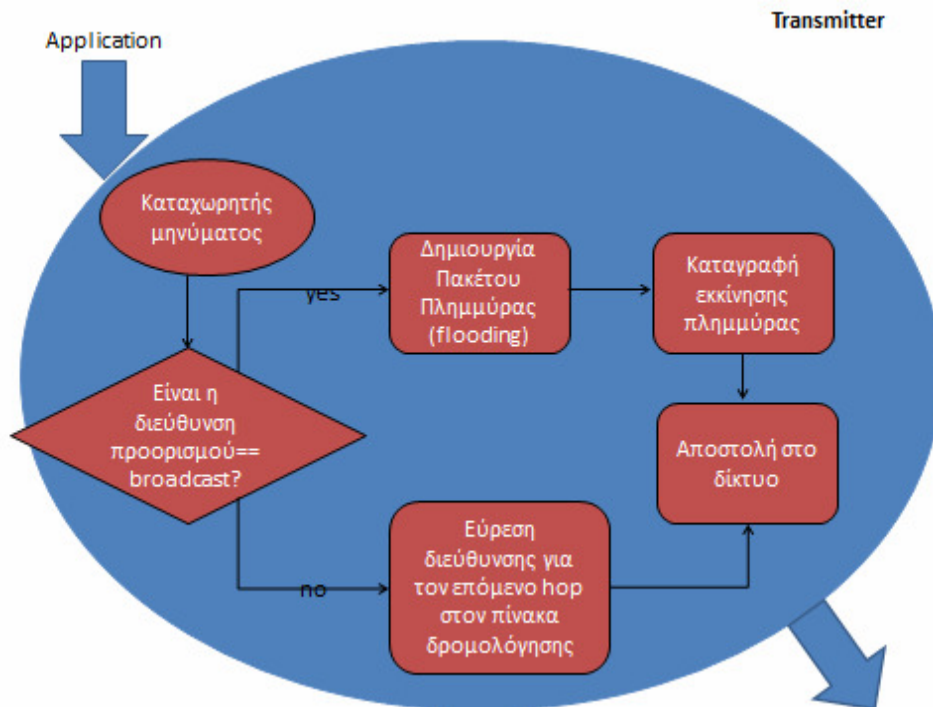
Ύστερα θα περάσουμε στο δεύτερο στάδιο εκεί όπου το πακέτο περνάει από έναν ενδιάμεσο. Σε αυτό το στάδιο ο καχωρητής μηνύματος από χαμηλά μας δίνει μια εκτίμηση για το πόσο χρόνο θα μείνει το πακέτο στην ουρά της mac. Ο αποστολέας σε σύγκριση με αυτό δείχνει ότι η καθυστέρηση της μετάδοσης είναι αμελητέα. Αυτό έχει σαν ενημέρωση το χρόνο που χρειάζεται για να ζήσει το πακέτο στο δίκτυο. Στη συνέχεια γίνεται η αναγνώριση του πακέτου, με την οποία εισάγεται το μήνυμα στην ουρά με τυχαία σειρά μετάδοσης. Επειδή το μήνυμα προήλθε από χαμηλότερο επίπεδο, χρειάζεται να δημιουργήσουμε και να εισάγουμε ένα καινούργιο πακέτο, τέτοιο ώστε να είναι η destination address ίση με την broadcast address. Στην περίπτωση που έχει ξαναλάβει το μήνυμα τότε το διαγράφει. Ύστερα, η μέθοδος pops καλεί το πρώτο μήνυμα από το μήνυμα της ουράς και προγραμματίζει το χρόνο για το επόμενο μήνυμα και αν το πακέτο δεν χαθεί, δημιουργείται ένα αντίγραφο το οποίο τοποθετείται στην ουρά και στην συνέχεια εκτελείται μία προσπάθεια εκπομπής. Υπάρχουν 2 πιθανότητες : το πακέτο να μην χαθεί ή το πακέτο να χαθεί στην επόμενη προσπάθεια εκπομπής. Αν το αντίγραφο πεταχτεί έξω από την ουρά θα θεωρηθεί ότι χάθηκε και θα απορριφθεί. Αν ο χρόνος για το πόσο χρόνο ζει το πακέτο στο δίκτυο είναι μεγαλύτερος από το χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοση του πακέτου, τότε το μήνυμα θα μεταδοθεί μία φορά ακόμα. Για να μεταφερθεί μία φορά θα πρέπει να το τοποθετήσουμε έτσι ώστε η καθυστέρηση να είναι ίση με την περίοδο μετάδοσης (delay=broadcast period). Σε αντίθετη περίπτωση, το μήνυμα θα είναι νεκρό

κατά την επόμενη απόπειρα εκπομπής. Πρέπει να ισχύει $delay = TTL + timeInQueueAfterDeath$. Με αυτόν τον τρόπο το μήνυμα είναι γνωστό στο σύστημα, ο αποσυγχρονισμός μεταξύ των αντιγράφων του ίδιου μηνύματος είναι ο χειρισμός και όταν το μήνυμα θα πεταγόταν έξω ο TTL του θα είναι μικρότερος από το μηδέν και τότε το μήνυμα θα πρέπει να απορριφθεί, δεν μεταδίδεται.



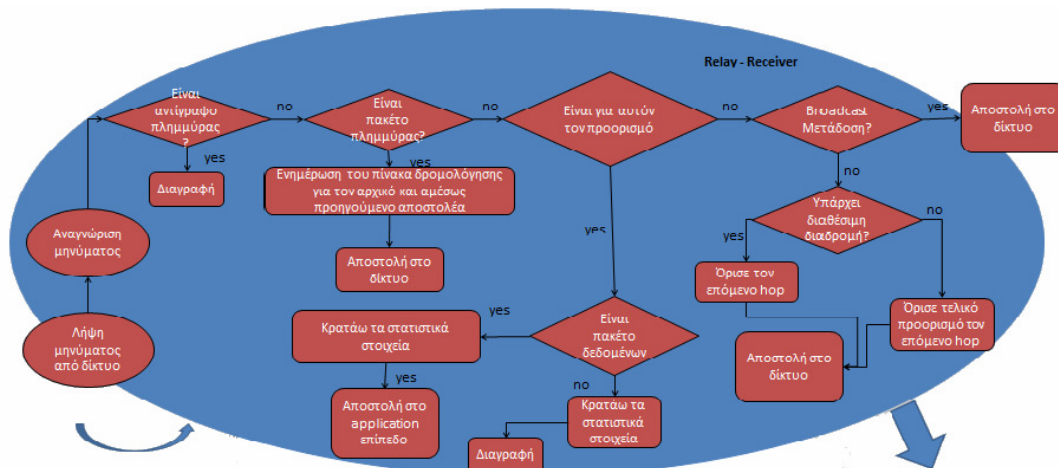
Εικόνα 21:Διάγραμμα Ροής για τον Receiver στο Probabilistic πρωτόκολλο.

Τέλος, το τελικό στάδιο είναι αυτό όπου το πακέτο φτάνει στον παραλήπτη και αυτός μέσα από τον τελικό προορισμό αν κάποια μηνύματα είναι ακόμα στην ουρά τα διαγράφει.



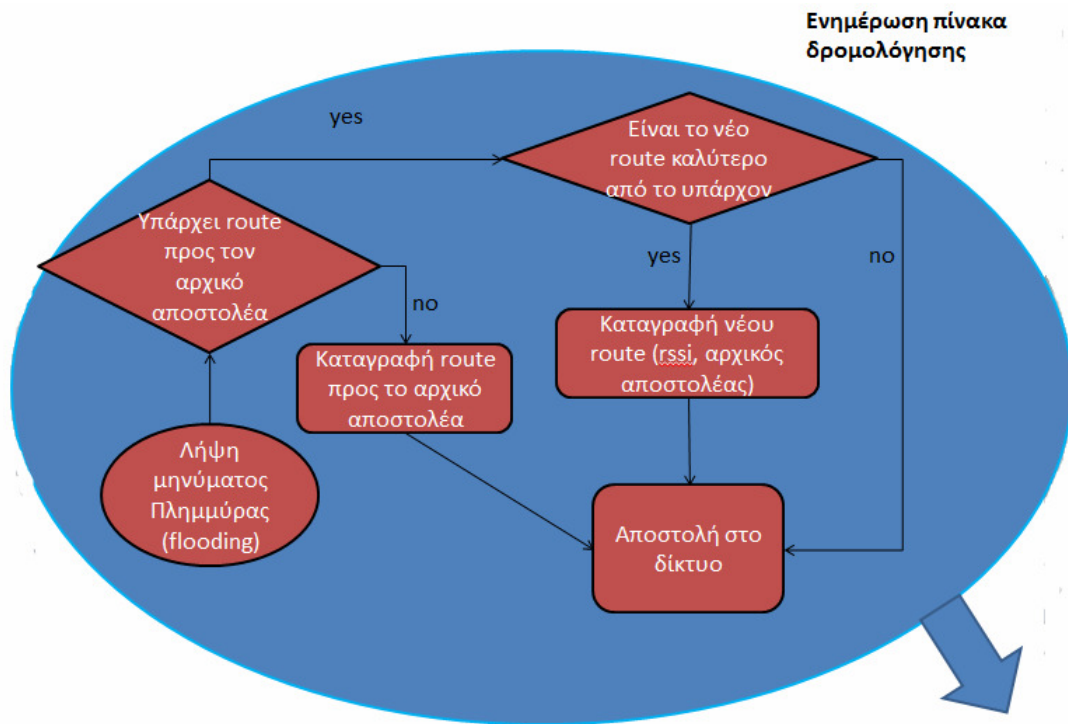
Εικόνα 22: Διάγραμμα Ροής για τον Transmitter στο Wise Route πρωτόκολλο.

Στην ανάλυση του Wise route κώδικα έχουμε τις εξής ακολουθίες. Στο πρώτο στάδιο θα μελετήσουμε την περίπτωση που ο αποστολέας δέχεται το πακέτο. Όταν ο application στείλει το πακέτο τότε ένας καταχωρητής μηνύματος με το που δέχεται το μήνυμα από αυτόν ελέγχει αν η διεύθυνση προορισμού είναι ίδια με αυτή του broadcast. Στην περίπτωση που η διεύθυνση είναι ίδια τότε δημιουργεί ένα πακέτο πλημμύρας (flooding) και ξεκινάει μία καταγραφή για το άρχισε η πλημμύρα και στη συνέχεια το προωθεί στο δίκτυο. Αν οι διευθύνσεις δεν είναι ίδιες τότε προσπαθεί να βρει τη διεύθυνση για τον επόμενο hop μέσα από τον πίνακα δρομολόγησης και έπειτα το προωθεί στο δίκτυο.



Εικόνα 23: Διάγραμμα Ροής για τον Relay-Receiver στο Wise Route πρωτόκολλο.

Ύστερα θα περάσουμε στο δεύτερο στάδιο το οποίο ακολουθεί την ίδια διαδικασία είτε αυτός είναι ο relay είτε ο receiver. Σε αυτό το στάδιο μόλις γίνει η λήψη του πακέτου από το δίκτυο σειρά έχει η αναγνώριση μηνύματος για το πακέτο είναι αντίγραφο κάποιας πλημμύρας και αν ναι, το διαγράφει.. Αν όχι, τότε αναγνωρίζει αν το πακέτο αυτό είναι πακέτο πλημμύρας, αν είναι τότε ενημερώνει τον πίνακα δρομολόγησης για τον αρχικό και τον αμέσως προηγούμενο αποστολέα και έπειτα το αποστέλλει στο δίκτυο. Αν δεν είναι πακέτο πλημμύρας, τότε επεξεργάζεται αν το πακέτο αυτό είναι για αυτόν τον προορισμό και αν είναι, είναι πακέτο δεδομένων; Αν είναι πακέτο δεδομένων κρατάει τα στατιστικά στοιχεία και το αποστέλλει στον application. Υπό άλλες συνθήκες αν δεν είναι πακέτο δεδομένων κρατάει τα στατιστικά στοιχεία και μετά το διαγράφει. Στην περίπτωση που δεν είναι για αυτόν τον προορισμό, επεξεργάζεται εάν πρέπει να το κάνει broadcast και αν ναι το προωθεί στο δίκτυο. Τέλος, εάν δεν είναι broadcast βλέπει εάν υπάρχει διαθέσιμη διαδρομή, εάν υπάρχει διαδρομή τότε ορίζει τον επόμενο hop και το προωθεί στο δίκτυο εάν όχι τότε ορίζει σαν τελικό προορισμό τον επόμενο hop και το προωθεί στο δίκτυο.



Εικόνα 24:Διάγραμμα ροής για τον πίνακα δρομολόγησης στο Wise Route πρωτόκολλο.

Παραπάνω είδαμε την ενημέρωση που κάνει ο πίνακας δρομολόγησης. Όταν στον πίνακα φτάνει ένα μήνυμα πλημμύρας τότε ενημερώνεται εάν υπάρχει route προς τον αρχικό αποστολέα, εάν υπάρχει ενημερώνεται ακόμα μία φορά εάν το νέο route είναι καλύτερο από το ήδη υπάρχον και αν ναι τότε καταγράφει το νέο route και το αποστέλλει στο δίκτυο, εάν δεν είναι καλύτερο το route από το ήδη υπάρχον τότε απλά το αποστέλλει στο δίκτυο. Τέλος, στην περίπτωση που δεν υπάρχει route προς τον αρχικό αποστολέα τότε κάνει μία καταγραφή προς τον αρχικό αποστολέα και στέλνει το πακέτο στο δίκτυο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ:ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ PROBABILISTIC ΚΑΙ WISEROUTE

4.1 Σενάρια προσομοίωσης

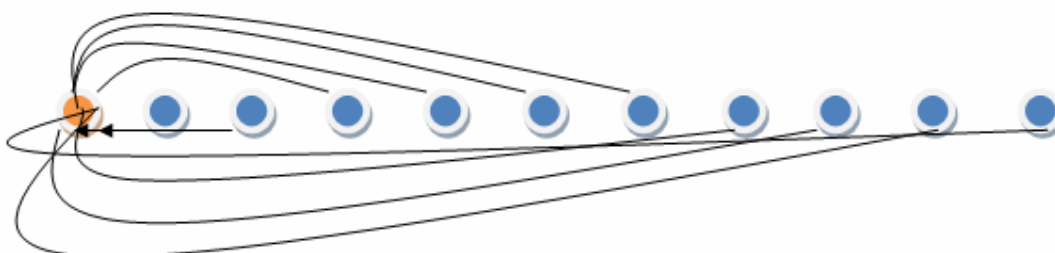
Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετήσουμε 2 τοπολογίες δικτύων (straight topology, grid topology) για τα Probabilistic και Wiseroute πρωτόκολλα, αντίστοιχα. Στην straight topology (και για τα 2 πρωτόκολλα) θεωρούμε ότι υπάρχουν 10 τοποθετημένοι κόμβοι σε μία ευθεία σε απόσταση περίπου 150m μεταξύ τους και τα σενάρια είναι τα εξής:

- 1) Αποστολή από κάθε έναν node ξεχωριστά μέχρι τον receiver που είναι ο node0.
- 2) Αποστολή όλοι οι nodes μαζί στον node 0.

Οι κόμβοι είναι στατικοί. Ο χρόνος προσομοίωσης είναι 100s.



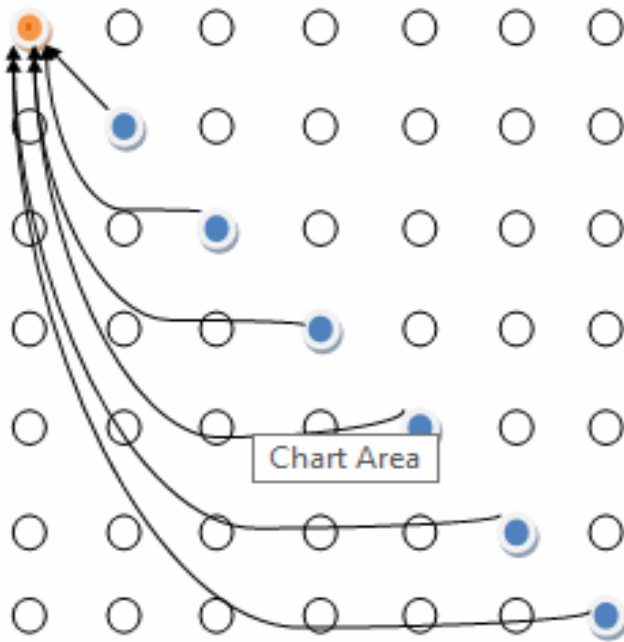
Εικόνα 25:Single transmitter scenario



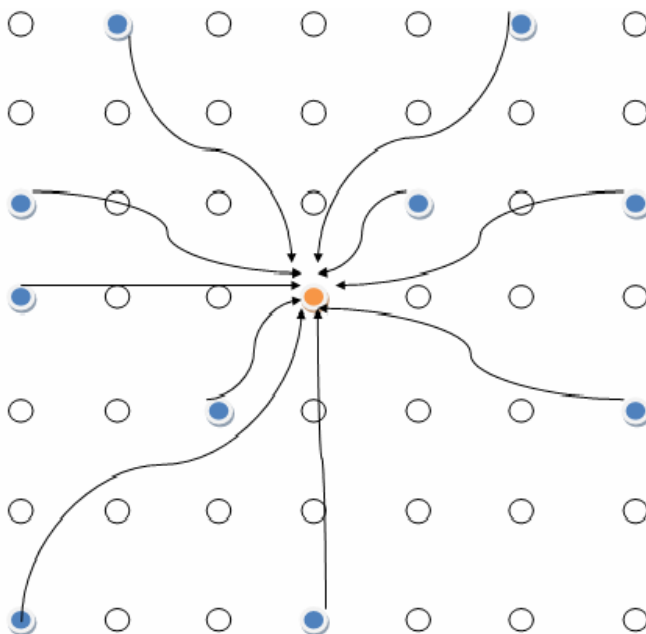
Εικόνα 26:Multiple transmitter scenario

Στην grid topology θεωρούμε ότι υπάρχουν 49 κόμβοι (7x7) σε μία απόσταση 50m μεταξύ τους και τα σενάρια είναι τα εξής:

- 1) Αποστολή μέσω διαγώνιων nodes στον receiver όπου είναι ο node0 πάνω αριστερά. (εικόνα 14)
- 2) Αποστολή μέσω τυχαίων nodes της επιλογής μας με προορισμό αυτή τη φορά τον receiver node0 όπου είναι ο κεντρικός node της τοπολογίας. (εικόνα 15)



Εικόνα 27: Σχήμα τοπολογίας grid scenario 1



Εικόνα 28: Σχήμα τοπολογίας grid scenario 2

4.2 Μετρικές απόδοσης

Σκοπός της προσομοίωσης αυτής είναι να δούμε πως επηρεάζονται κάποιες παράμετροι όπως είναι οι αναπηδήσεις κάθε πακέτου από ένα σημείο σε ένα άλλο (hops), ο αριθμός χαμένων πακέτων στο δίκτυο (packet loss) και η καθυστέρηση (delay).

4.2.1 Hops

Με τον όρο hop εννοούμε ένα τμήμα διαδρομής μεταξύ της πηγής και του προορισμού σε μία δικτύωση υπολογιστών. Τα πακέτα δεδομένων περνούν από γέφυρες, δρομολογητές και πύλες κατά τη διαδρομή που ακολουθούν. Κάθε φορά που ένα πακέτο περνάει από μία συσκευή, συμβαίνει ένα hop ή μία αναπήδηση. Παρακάτω αναλύουμε την κάθε παράμετρο ξεχωριστά.

4.2.2 Καθυστέρηση (Delay)

Καθυστέρηση είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταφερθεί ένα πακέτο δεδομένων από την πηγή ως τον παραλήπτη. Η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο είναι το σύνολο των καθυστερήσεων που εισάγεται από τον αποστολέα, το δίκτυο και τον παραλήπτη. Η που εισάγεται από το δίκτυο είναι ο χρόνος που χρειάζεται ένα πακέτο να μεταδοθεί από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Η καθυστέρηση αυτή προκύπτει από το άθροισμα τριών καθυστερήσεων: την καθυστέρηση μετάδοσης (transmission delay), την καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay) και την καθυστέρηση της αναμονής των πακέτων στις ουρές των κόμβων.

4.2.3 Απώλεια πακέτων (Packet loss)

Η απώλεια πακέτων οφείλεται κυρίως στην ανικανότητα ενδιάμεσων δρομολογητών να παραδώσουν ορισμένα πακέτα, αλλά και στην ύπαρξη σφαλμάτων στα δεδομένα πακέτων. Ο υπολογισμός γίνεται θεωρώντας ως χαμένο κάθε πακέτο το οποίο δεν ανήκει σε μία χρονική αντιστοιχία άφιξης σε σχέση με το πακέτο ελέγχου.[19]

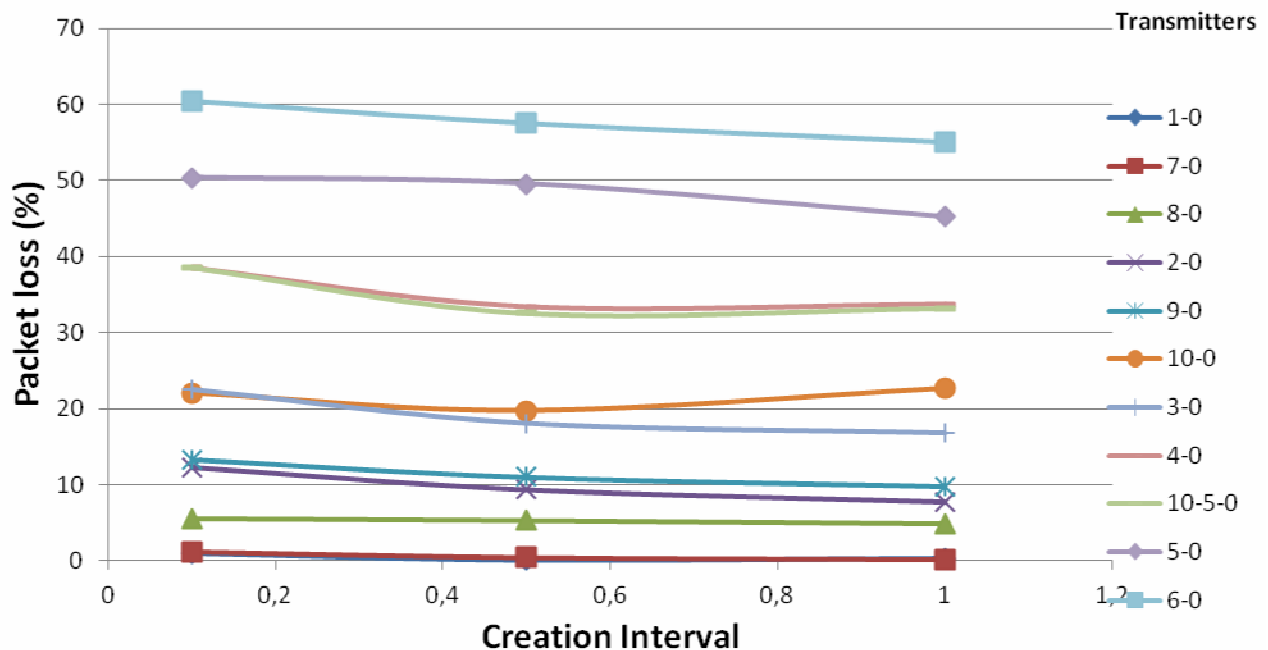
4.3 Ανάλυση απόδοσης Probabilistic

4.3.1 Probabilistic Straight (single Transmitter scenario)

Σε αυτό το σενάριο όπως αναφέραμε και στην αρχή του κεφαλαίου έχουμε 10 κόμβους (nodes) στη σειρά. Ο node 0 είναι ο receiver και ο κάθε κόμβος ξεχωριστά είναι ο transmitter. Παρακάτω θα δούμε τις γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν την απώλεια πακέτων (packet loss) και την καθυστέρηση (delay) σε σύγκριση με το χρονικό διάστημα (creation interval).

Αρχικά φαίνεται η απώλεια πακέτων από 0.1s, 0.5s και 1s. Στο μικρότερο χρονικό διάστημα έχουμε την μεγαλύτερη απώλεια πακέτων όπως δείχνει και η γραφική παράσταση.

	1-0	7-0	8-0	2-0	9-0	10-0	3-0	4-0	10-5-0	5-0	6-0
1	0,33	0,16	4,91	7,79	9,83	22,71	16,77	33,72	33,22	45,25	55
0,5	0,08	0,42	5,33	9,4	11,01	19,74	18,05	33,38	32,58	49,57	57,5
0,1	1	1,15	5,57	12,3	13,23	22,1	22,49	38,47	38,49	50,37	60,4

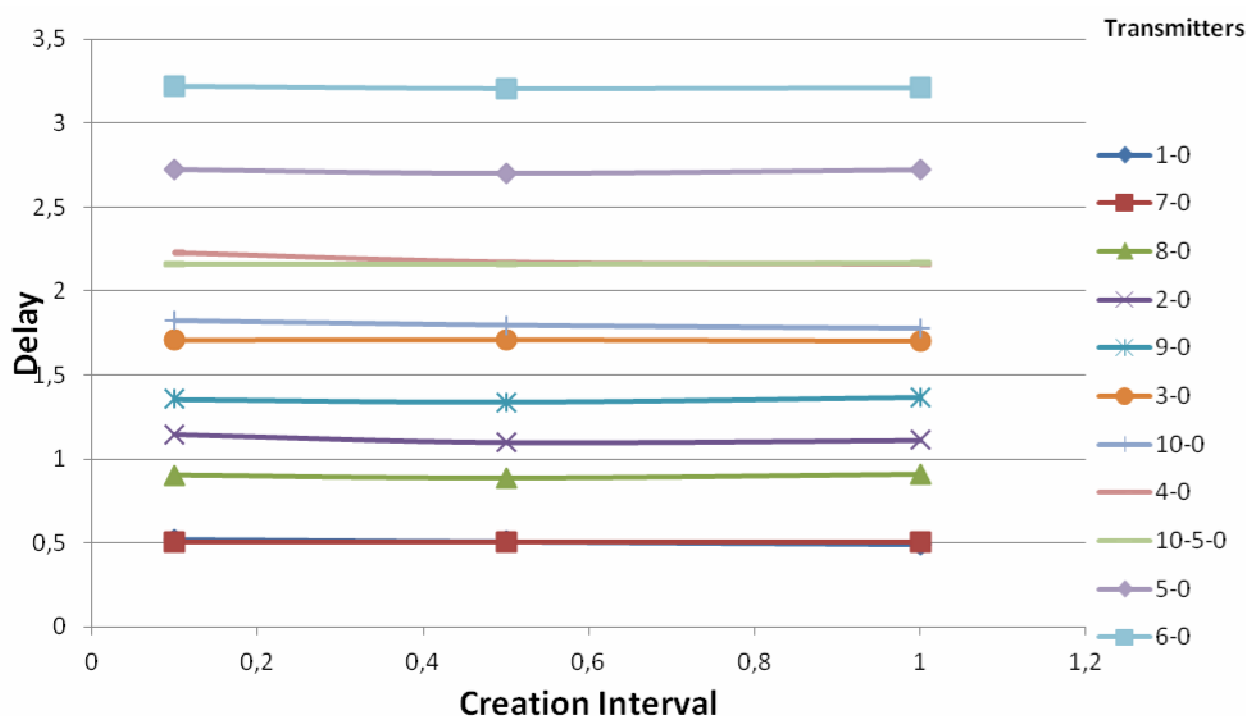


Εικόνα29:Διάγραμμα που δείχνει την απώλεια πακέτων στο χρονικό διάστημα 1.0s,0.5s,0.1s.

Όπως παρατηρούμε από την εικόνα 18 στο μικρότερο χρονικό διάστημα έχουμε την μεγαλύτερη απώλεια πακέτων. Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τους κόμβους που στέλνουν τα πακέτα παρατηρούμε ότι στο 0,1s και όταν ο transmitter είναι ο κόμβος 6 έχουμε την μεγαλύτερη απώλεια πακέτων. Γενικά παρατηρούμε στο 0,5s μια αύξηση περίπου στο 2% στην απώλεια πακέτων και στο 0,1s μια αύξηση περίπου στο 5%.

Στη συνέχεια βλέπουμε στην επόμενη γραφική παράσταση την καθυστέρηση (delay) στο χρονικό διάστημα 0.1s , 0.5s και 1s.

	1-0	7-0	8-0	2-0	9-0	3-0	10-0	4-0	10-5-0	5-0	6-0
1	0,49372	0,50714	0,9093	1,11343	1,36896	1,70376	1,7757	2,1565	2,17	2,72326	3,21132
0,5	0,5104	0,5054	0,8895	1,10093	1,3393	1,70882	1,7973	2,1701	2,16	2,70293	3,20613
0,1	0,52421	0,50722	0,905	1,14786	1,35567	1,7079	1,827	2,2248	2,16	2,72473	3,2217

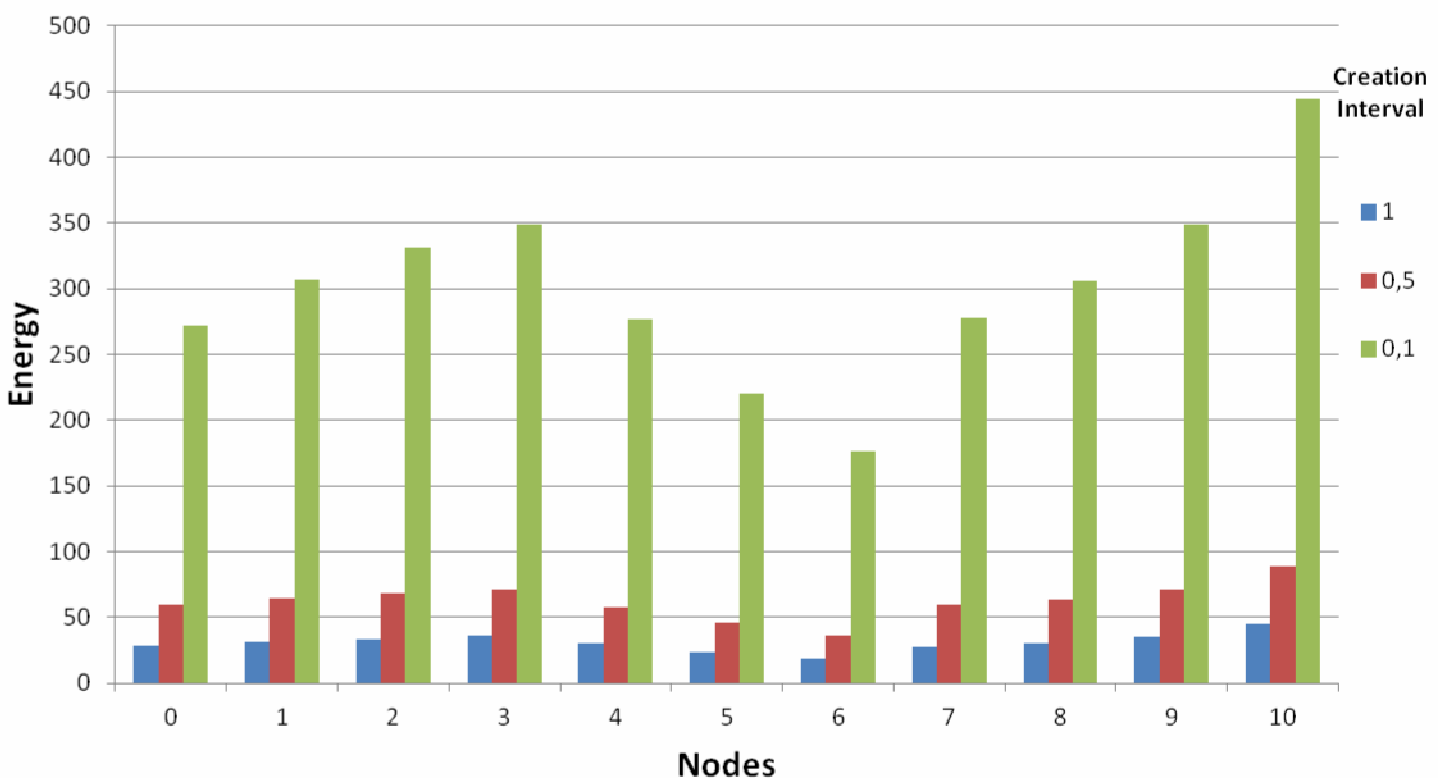


Εικόνα 30:Διάγραμμα που δείχνει την καθυστέρηση στο χρονικό διάστημα 1s,0.5s,0.1s.

Όπως παρατηρούμε όσο μεγαλύτερο το Nb hops τόσο μεγαλύτερη είναι και η καθυστέρηση. Αναλυτικότερα την μεγαλύτερη καθυστέρηση την βλέπουμε όταν ο κόμβος που στέλνει στον receiver (που είναι ο κόμβος 0) είναι και εδώ όπως και στο διάγραμμα απώλειας πακέτων ο κόμβος 6.Εδώ όσον αφορά τον χρόνο, στο 0,1s παρατηρούμε την μεγαλύτερη καθυστέρηση στην μετάδοση πακέτων, αλλά σε γενικές γραμμές οι τιμές κυμαίνονται σχεδόν στα ίδια επίπεδα στα χρονικά διαστήματα 0,5s και 1s.

Τέλος θα δούμε τις γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν την ενέργεια που καταναλώθηκε κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Ο κόμβος 10 στέλνει στο κόμβο 0 και η κατανάλωση ενέργειας φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28,62	31,03803	33,6747	36,1608	29,9080	23,203	18,306	27,4972	30,6613	35,1061	44,447
0,5	59,66	64,5621	68,3288	71,568	57,4053	46,105	36,537	59,514	63,8087	70,9656	88,8200
0,1	272,1	307,291	331,700	348,725	276,85	220,731	176,208	278,136	305,78	349,25	444,100

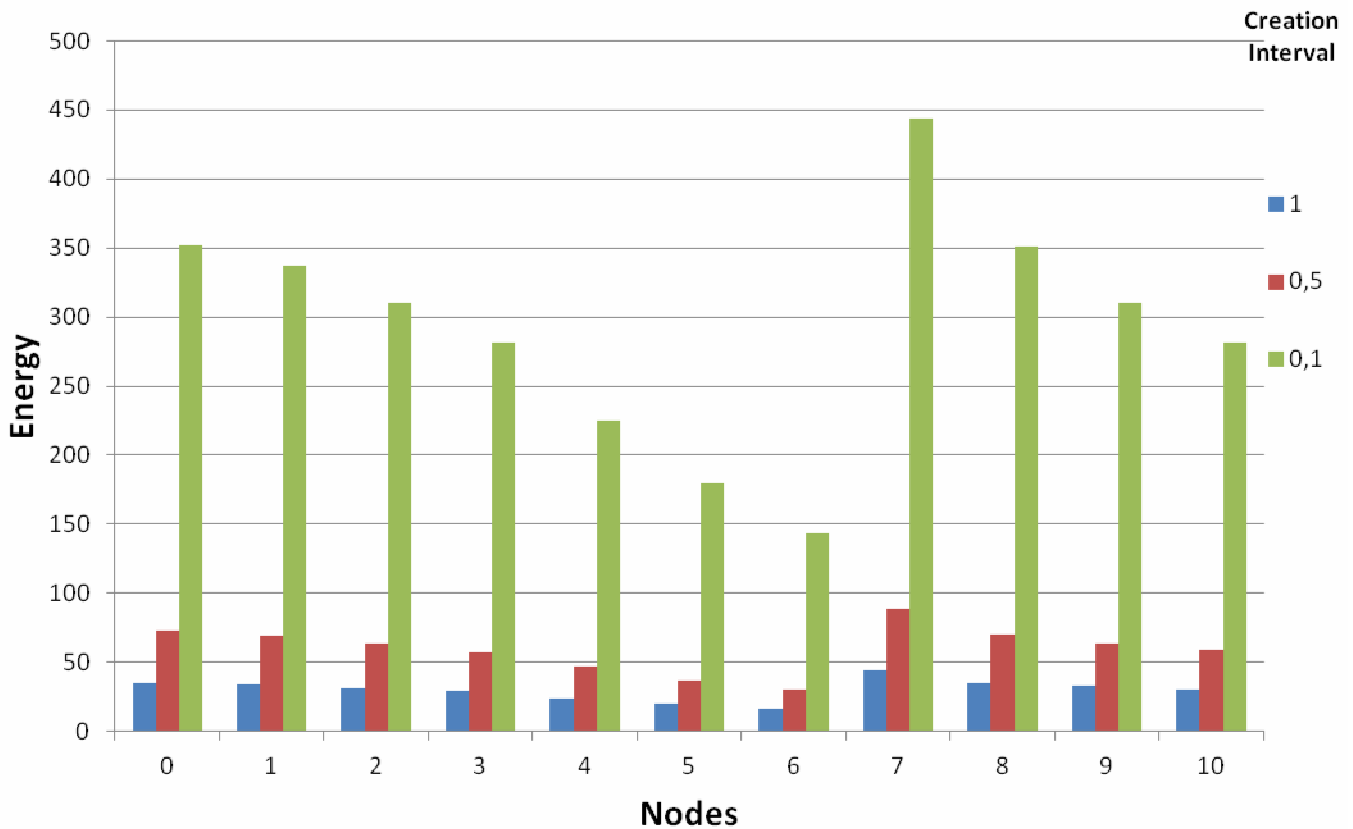


Εικόνα 31: Διάγραμμα με την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνει ο κόμβος 10 στον κόμβο 0.

Στην περίπτωση αυτή που ο κόμβος 10 στέλνει στον κόμβο 0 παρατηρούμε την αυξημένη ενέργεια του κόμβου 10 λόγω ότι είναι ο transmitter. Επίσης φέρεται στο διάγραμμα ότι στο 1s έχουμε την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας ενώ στο 0,1s έχουμε την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας με μεγάλη διαφορά στους κόμβους που στέλνουν.

Στη συνέχεια ο node 7 στέλνει στον node 0 και έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	34,8047	33,6747	31,264	29,154	23,35	19,587	16,34	44,37	34,654	32,695	29,832
0,5	72,622	69,2329	63,884	57,55	46,78	36,462	29,83	88,82	70,362	64,03	58,836
0,1	352,040	337,199	310,606	281,52	225,02	179,22	143,36	444,17	350,98	310,07	281,602

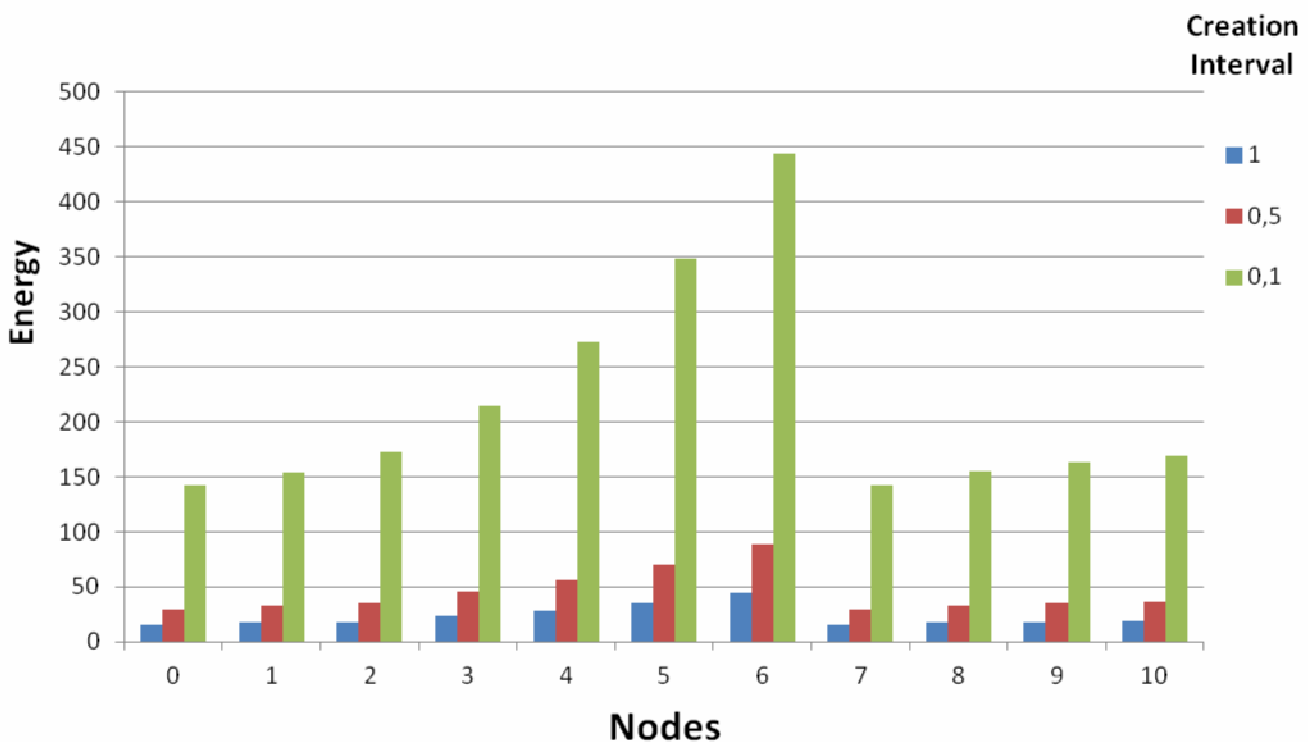


Εικόνα 32: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνει ο κόμβος 7 στον κόμβο 0.

Παρατηρούμε την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας του κόμβου 7 καθώς είναι ο transmitter στην συγκεκριμένη περίπτωση και ο κόμβος 0 ο receiver. Όπως αναφέραμε και πριν ότι στο 0,1s έχουμε την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, και την παρατηρούμε στην περίπτωση μας στον κόμβο 7 που είναι ο κόμβος που στέλνει στον κόμβο 0.

Στη συνέχεια ο node 6 στέλνει στον node 0 και έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	15,368	17,77	18,155	23,504	28,40	34,72	44,44	15,067	17,47	18,15	19,36
0,5	29,757	32,69	35,256	46,18	56,12	69,760	88,82	29,757	32,921	35,030	35,85
0,1	142,23	154,135	172,743	215,156	273,240	347,972	444,02	142,00	155,03	163,326	169,57

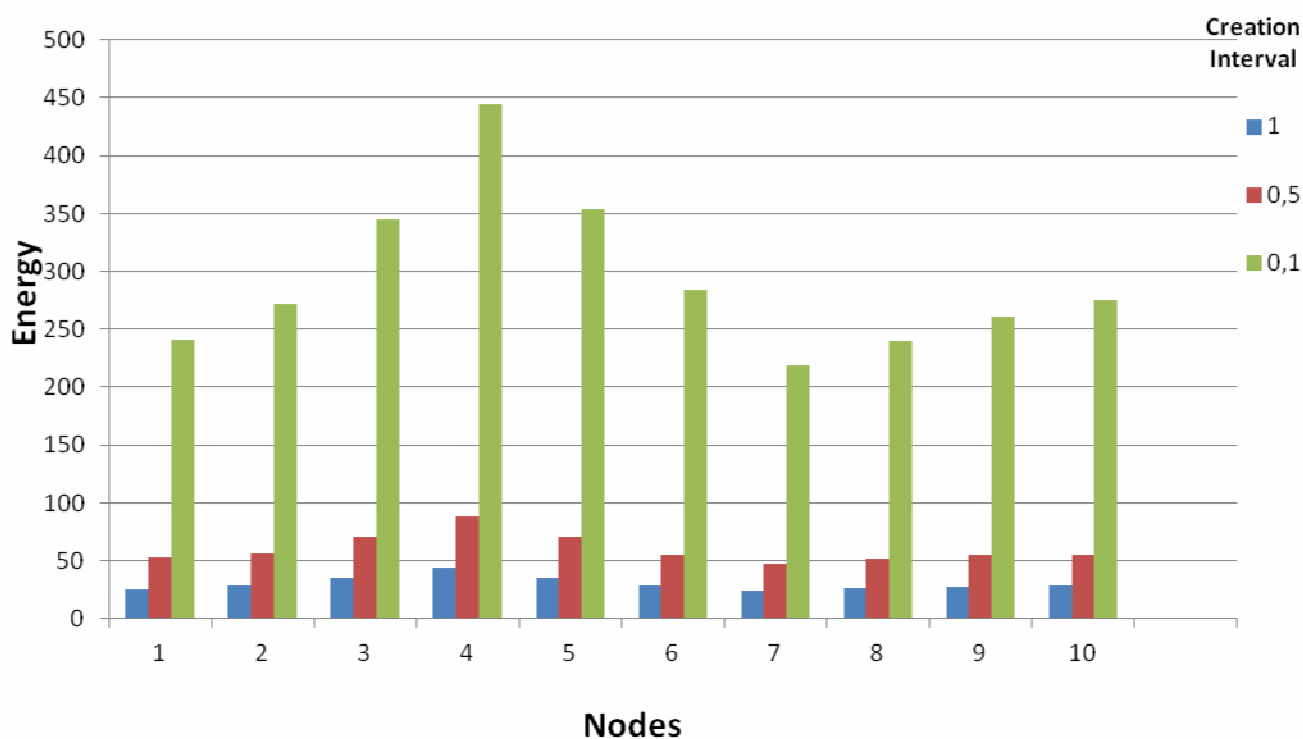


Εικόνα 33: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνει ο κόμβος 6 στον κόμβο 0.

Στην περίπτωση αυτή ο κόμβος 6 είναι ο transmitter και ο κόμβος 0 ο receiver. Οπότε έχουμε δικαιολογημένα την αυξημένη ενέργεια σύμφωνα με το διάγραμμα στον κόμβο 6. Παρατηρείται επίσης μια χαμηλή κατανάλωση ενέργειας στους κόμβους 7, 8, 9, 10 κάτι το οποίο είναι φυσιολογικό διότι στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο transmitter ο κόμβος 6 και δεν επηρεάζονται σε ποσοστό ενέργειας οι συγκεκριμένοι κόμβοι.

Στη συνέχεια ο node 4 στέλνει στον node 0 και έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	24,25	25,46	29,07	35,70	44,37	35,40	28,09	23,80	26,29	27,79	28,55
0,5	47,76	52,73	55,97	70,36	88,82	70,43	54,84	47,46	51,75	54,84	55,29
0,1	219,90	240,99	271,88	344,73	444,17	353,84	284,38	218,99	239,64	260,96	275,12



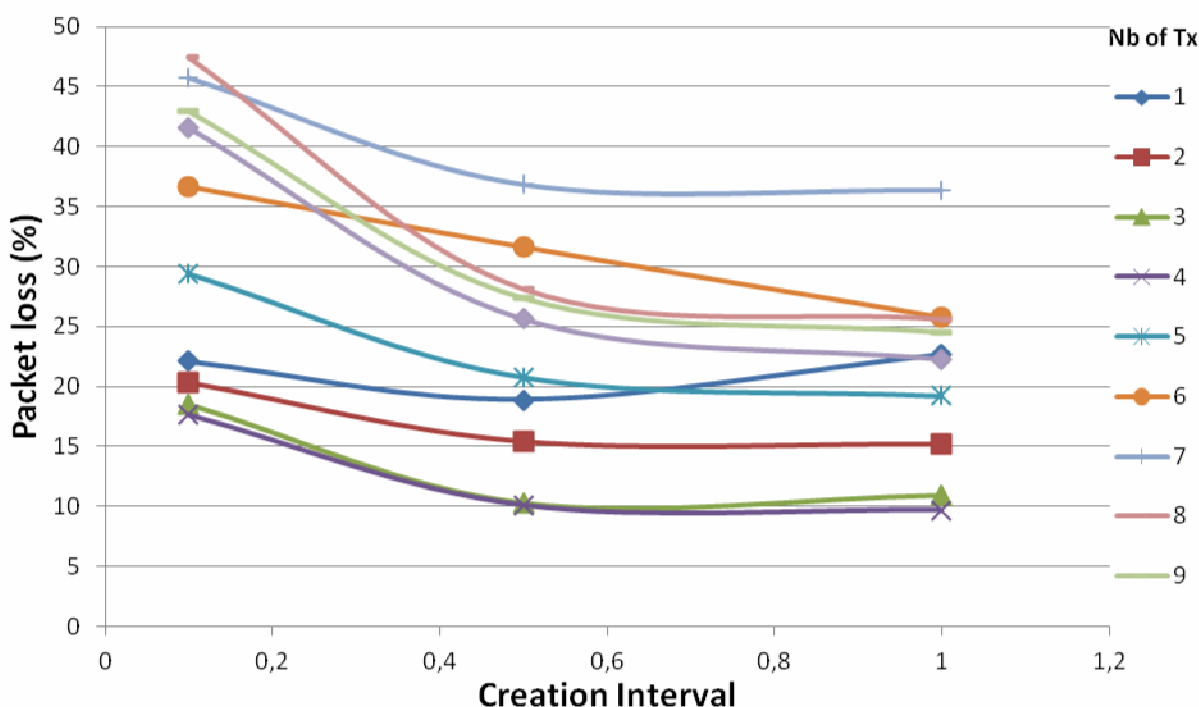
Εικόνα 34: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνει ο κόμβος 4 στον κόμβο 0.

Τέλος βλέπουμε την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας στον κόμβο 4 καθώς είναι ο transmitter και ο κόμβος 0 ο receiver. Επίσης και εδώ παρατηρείται χαμηλή κατανάλωση ενέργειας στους υπόλοιπους κόμβους εκτός από τον κόμβο 4 που είναι στην περίπτωση αυτή ο transmitter.

4.3.2 Probabilistic Straight (Multiple Transmitters scenario)

Στο δεύτερο σενάριο της straight τοπολογίας του probabilistic πρωτοκόλλου έχουμε πολλαπλούς transmitters με receiver τον κόμβο 0. Αρχικά και σε αυτό το σενάριο φαίνεται η απώλεια πακέτων στο χρονικό διάστημα 0.1s, 0.5s και 1s.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	22,71	15,25	10,9	9,7	19,22	25,79	36,39	25,59	24,51	22,27
0,5	18,89	15,46	10,25	10,12	20,77	31,64	36,88	28,12	27,36	25,64
0,1	22,1	20,31	18,51	17,7	29,37	36,66	45,71	47,48	42,97	41,6

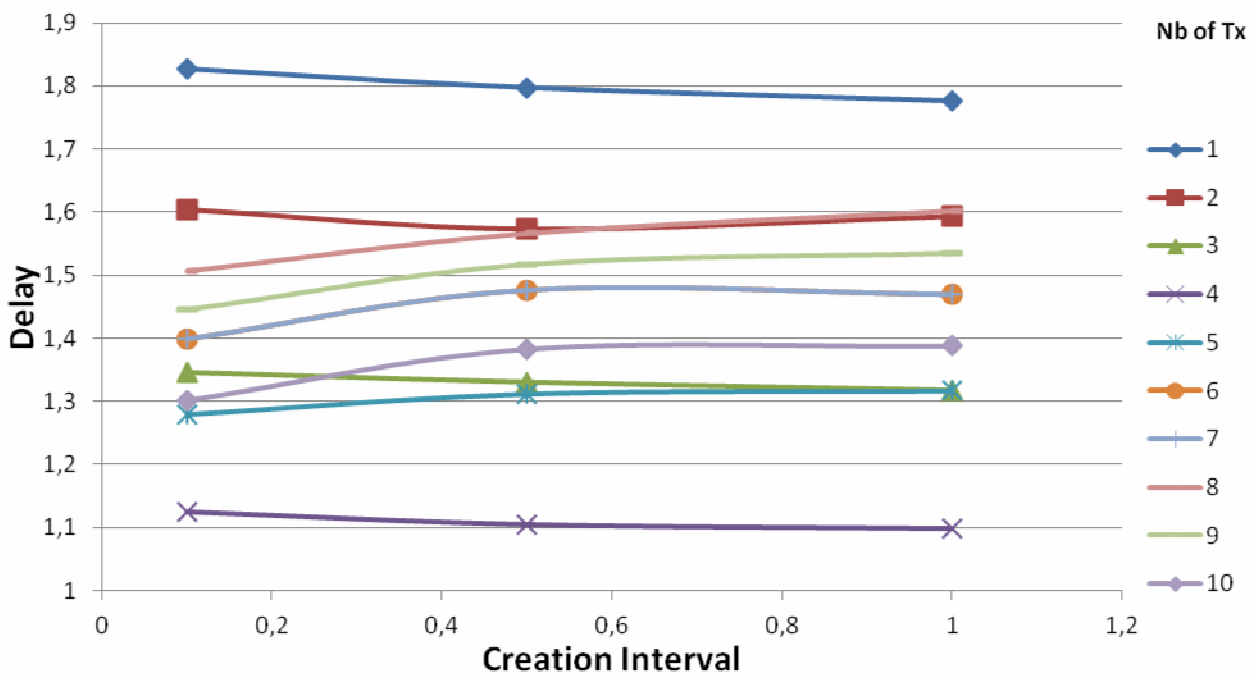


Εικόνα 35: Διάγραμμα που δείχνει την απώλεια πακέτων στο χρονικό διάστημα 1s, 0.5s, 0.1s.

Όπως παρατηρούμε και εδώ στο μικρότερο χρονικό διάστημα έχουμε την μεγαλύτερη απώλεια πακέτων. Πιο αναλυτικά όσον αφορά τον αριθμό των transmitter βλέπουμε στο χρονικό διάστημα 0,1s και όταν οι κόμβοι που στέλνουν στον κόμβο 0 έχουμε την μεγαλύτερη απώλεια πακέτων. Γενικά στο χρονικό διάστημα 0,5s βλέπουμε μια αύξηση γύρω στο 5% ενώ στο 1% και ειδικά όταν αυξάνονται οι transmitters υπάρχει μια αύξηση γύρω στο 50%.

Στο επόμενο διάγραμμα παρατηρούμε την καθυστέρηση (delay) στο χρονικό διάστημα 0.1s ,0.5s και 1s.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,77568	1,5932	1,317	1,097	1,31728	1,46916	1,4692	1,60268	1,534	1,3881
0,5	1,7973	1,5724	1,331	1,104	1,31222	1,47596	1,476	1,56692	1,5164	1,3833
0,1	1,82703	1,6043	1,347	1,126	1,27981	1,39889	1,3989	1,50721	1,4462	1,3016

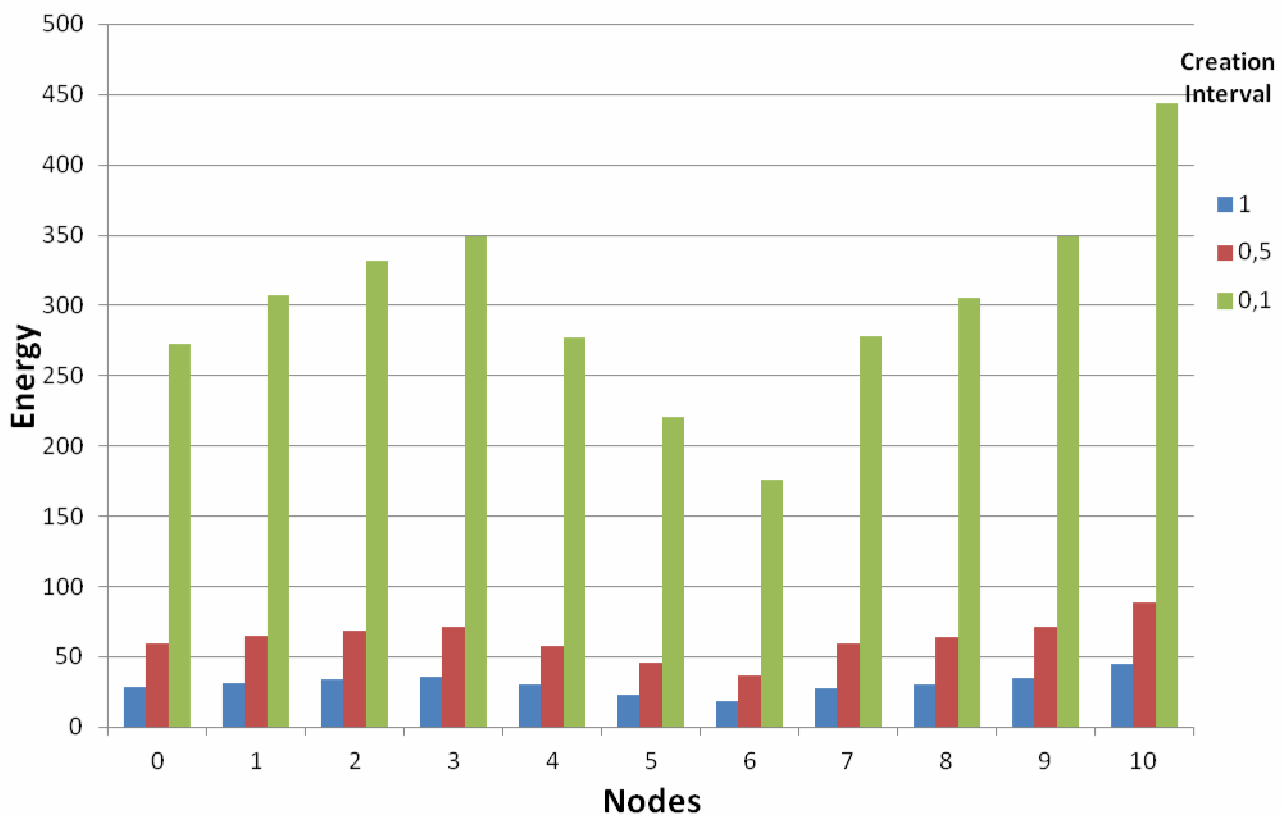


Εικόνα 36: Διάγραμμα που δείχνει την καθυστέρηση στο χρονικό διάστημα 1s,0.5s,0.1s.

Όπως παρατηρούμε από το παραπάνω διάγραμμα η μεγαλύτερη καθυστέρηση στην μετάδοση των πακέτων φαίνεται όταν στέλνει ο κόμβος 10 στον receiver (που είναι και εδώ ο κόμβος 0). Την μεγαλύτερη καθυστέρηση την βλέπουμε στο χρονικό διάστημα 0,1s ενώ και σε αυτό το σενάριο οι τιμές είναι περίπου στα ίδια επίπεδα στα χρονικά διαστήματα 0,5s και 1s.

Τέλος, θα μετρήσουμε και σε αυτό το σενάριο την κατανάλωση ενέργειας κατά την διάρκεια της προσομοίωσης στο χρονικό διάστημα 0.1s,0.5s και 1s .Στην αρχή ο κόμβος 10 στέλνει πακέτα στον κόμβο 0.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28,6273	31,03	33,67	36,16	29,90	23,20	18,30	27,49	30,66	35,10	44,44
0.5	59,6653	64,56	68,32	71,56	57,40	46,10	36,53	59,51	63,80	70,96	88,82
0.1	272,185	307,29	331,70	348,72	276,85	220,73	176,20	278,13	305,78	349,25	444,10

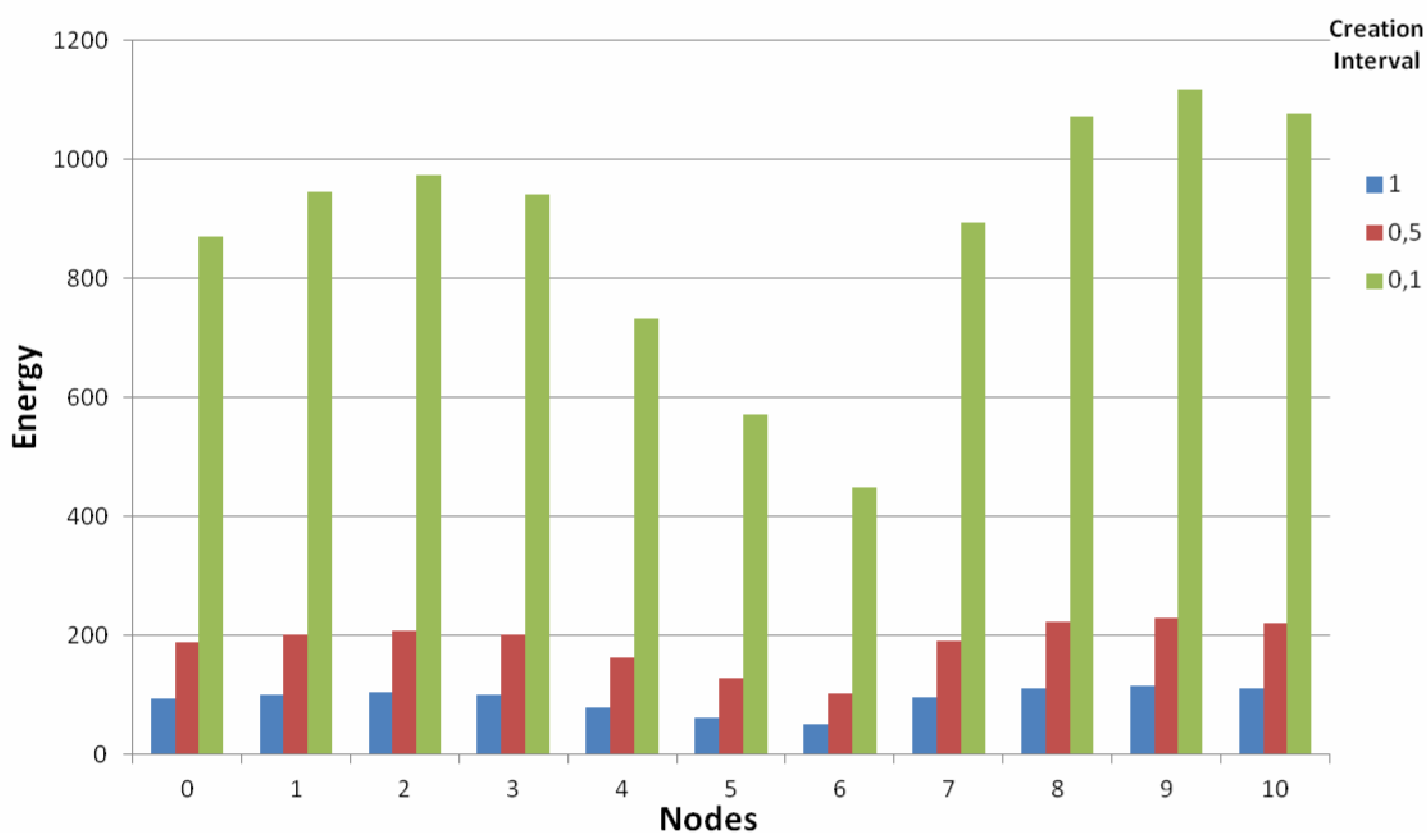


Εικόνα 37:Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνει ο κόμβος 10 στον κόμβο 0.

Στην αρχή στέλνει ο κόμβος 10 στον κόμβο 0.Επειδή σε αυτή τη περίπτωση έχουμε έναν transmitter έχουμε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας στον κόμβο 10(εικόνα 31). Βλέπουμε μια μικρή κατανάλωση ενέργειας στους κόμβους 5 και 6, αυτό συμβαίνει γιατί το στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο υπάρχει η ιδιομορφία ότι οι συγκεκριμένοι κόμβοι προωθούν πακέτα προς τους επόμενους και τους προηγούμενους κόμβους.

Για την περίπτωση που στέλνουν οι κόμβοι 10,9,8 στον κόμβο 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	94,47	101,40	104,64	101,55	79,02	62,67	50,47	97,68	112,17	114,96	111,72
0,5	188,33	201,21	209,35	202,65	162,27	129,57	103,58	191,04	223,36	229,39	220,72
0,1	871,023	945,15	974,00	940,33	733,91	571,26	449,14	894,67	1071,56	1117,67	1076,52

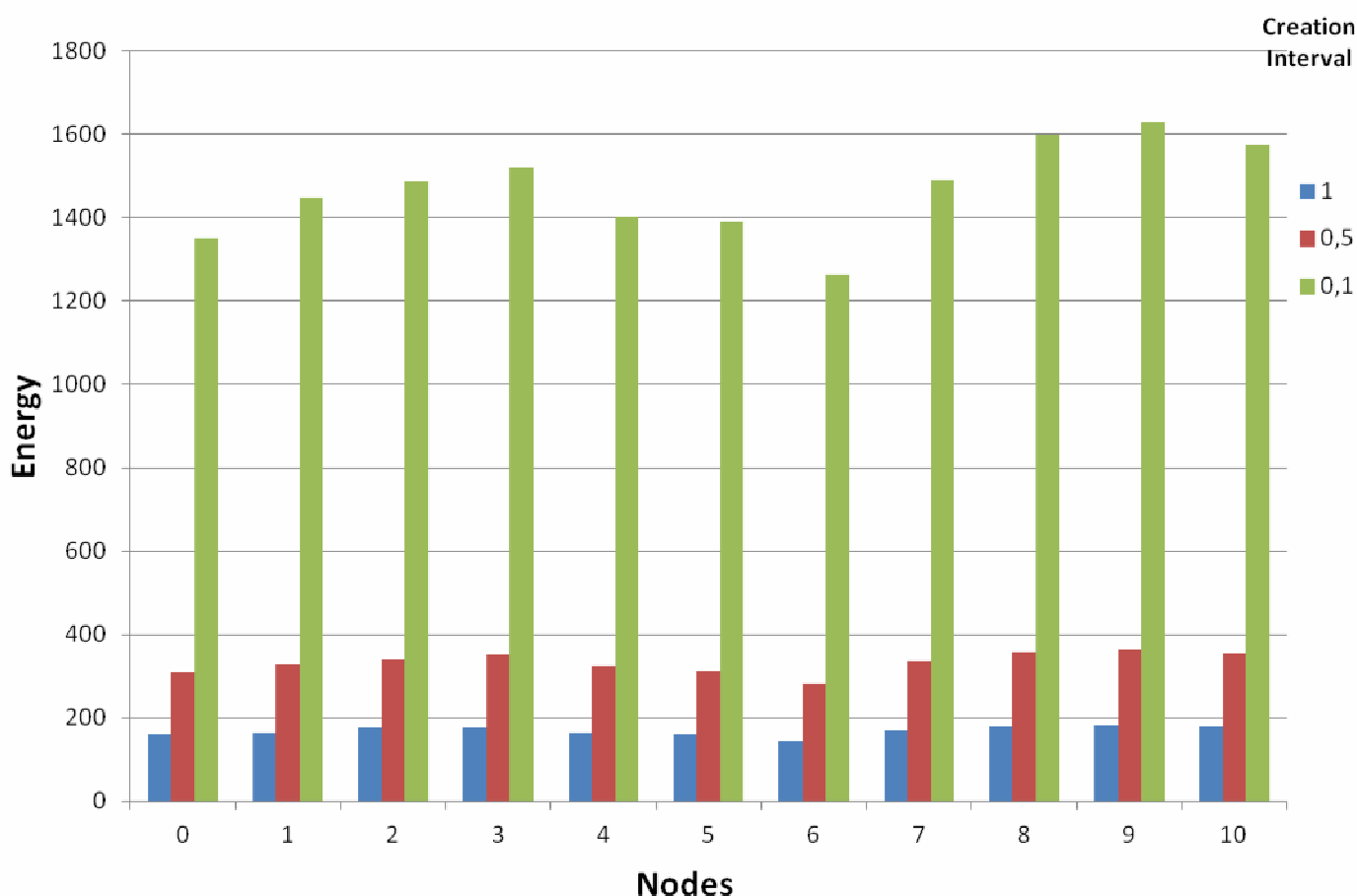


Εικόνα 38: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνουν οι κόμβοι 10,9,8 στον κόμβο 0.

Στη συνέχεια ο αριθμός των transmitter αυξάνεται. Στη συγκεκριμένη περίπτωση στέλνουν οι κόμβοι 10,9,8 στον κόμβο 0, έτσι παρατηρούμε και από το διάγραμμα την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας στους συγκεκριμένους κόμβους. Και εδώ παρατηρούμε μικρή κατανάλωση ενέργειας στον κόμβο 5 και 6 για τον λόγο που αναφέραμε και στο προηγούμενο σχήμα (εικόνα 37)

Για την περίπτωση που στέλνουν οι κόμβοι 10,9,8,7,6,5 στον κόμβο 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	160,08	163,77	175,45	177,18	164,68	159,71	142,91	168,59	179,14	183,29	178,84
0,5	310,22	327,93	339,38	351,28	324,16	313,77	282,05	336,74	358,29	364,77	355,43
0,1	1351,28	1448,24	1487,49	1520,63	1402,21	1390,23	1262,84	1491,85	1600,86	1629,57	1576,83

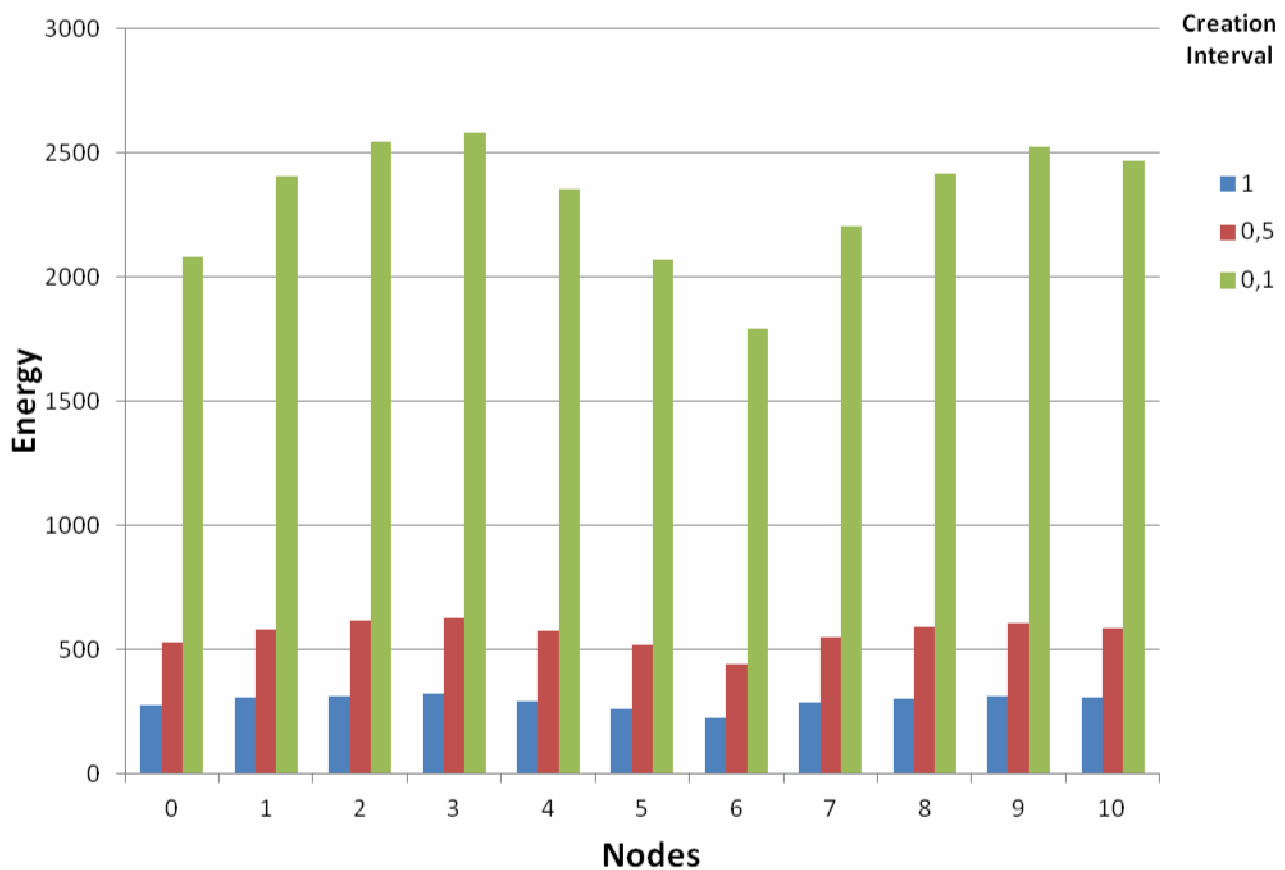


Εικόνα 39: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνουν οι κόμβοι 10,9,8,7,6,5 στον κόμβο 0.

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε προσθέσει τους κόμβους 7,6 και 5 στους transmitters και όπως φαίνεται και από το σχήμα υπάρχει αυξημένη κατανάλωση ενέργειας σε αυτούς τους κόμβους (εικόνα 39). Εδώ παρατηρούμε αλλαγές στις τιμές ενέργειας των κόμβων 5 και 6 σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις, κάτι που είναι απόλυτα φυσιολογικό καθώς είναι κόμβοι που στέλνουν στον κόμβο 0.

Για την περίπτωση που στέλνουν οι κόμβοι 10,9,8,7,6,5,4,3,2, στον κόμβο 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	276,02	305,70	312,18	321,98	291,16	260,65	224,34	287,47	303,14	310,98	304,88
0,5	528,24	580,98	613,60	628,06	574,12	516,94	441,91	546,78	588,06	604,63	586,40
0,1	2079,02	2405,44	2547,07	2583,31	2355,15	2069,45	1789,88	2204,45	2418,40	2522,83	2466,92



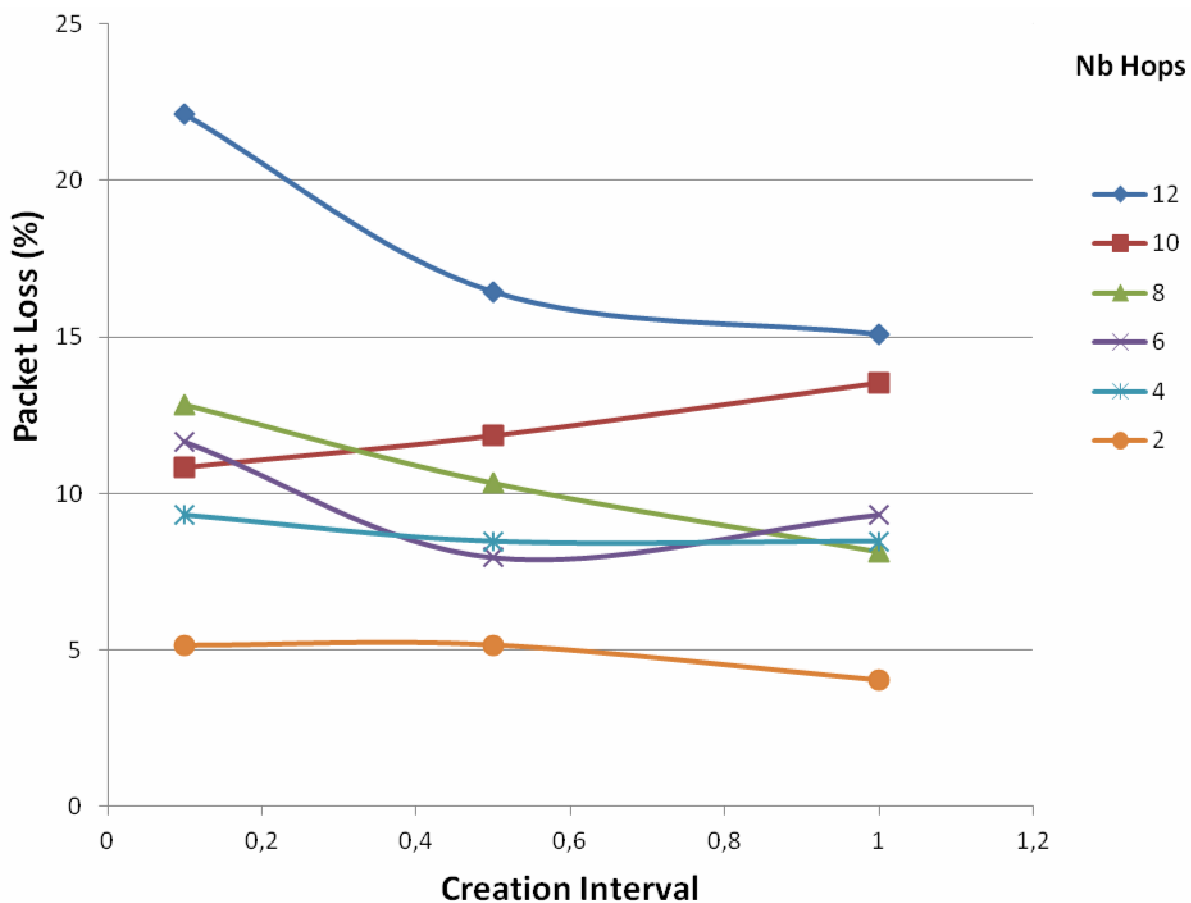
Εικόνα 40: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνουν οι κόμβοι 10,9,8,7,6,5,4,3,2 στον κόμβο 0.

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε προσθέσει τους κόμβους 4,3 και 2 στους transmitters και όπως φαίνεται και από το σχήμα υπάρχει αυξημένη κατανάλωση ενέργειας σε αυτούς τους κόμβους(εικόνα 400).

4.3.3 Probabilistic Grid Single Diagonal Transmitter

Σε αυτό το σενάριο έχουμε 49 κόμβους σε διάταξη 7x7. Στο πρώτο σενάριο ο κόμβος 0 που είναι και ο παραλήπτης (receiver) βρίσκεται στο πάνω αριστερό μέρος της τοπολογίας και transmitter είναι ο κάθε κόμβος ξεχωριστά που βρίσκεται στη διαγώνιο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Και εδώ θα δούμε γραφικά την απώλεια πακέτων στο χρονικό διάστημα 0.1s, 0.5s και 1s. Παρατηρούμε ότι στο μικρότερο χρονικό διάστημα και στο μεγαλύτερο Nb Hops έχουμε την μεγαλύτερη απώλεια πακέτων.

	12	10	8	6	4	2
1	15,08	13,55	8,13	9,32	8,47	4,06
0,5	16,44	11,86	10,33	7,96	8,47	5,16
0,1	22,11	10,84	12,84	11,64	9,32	5,15

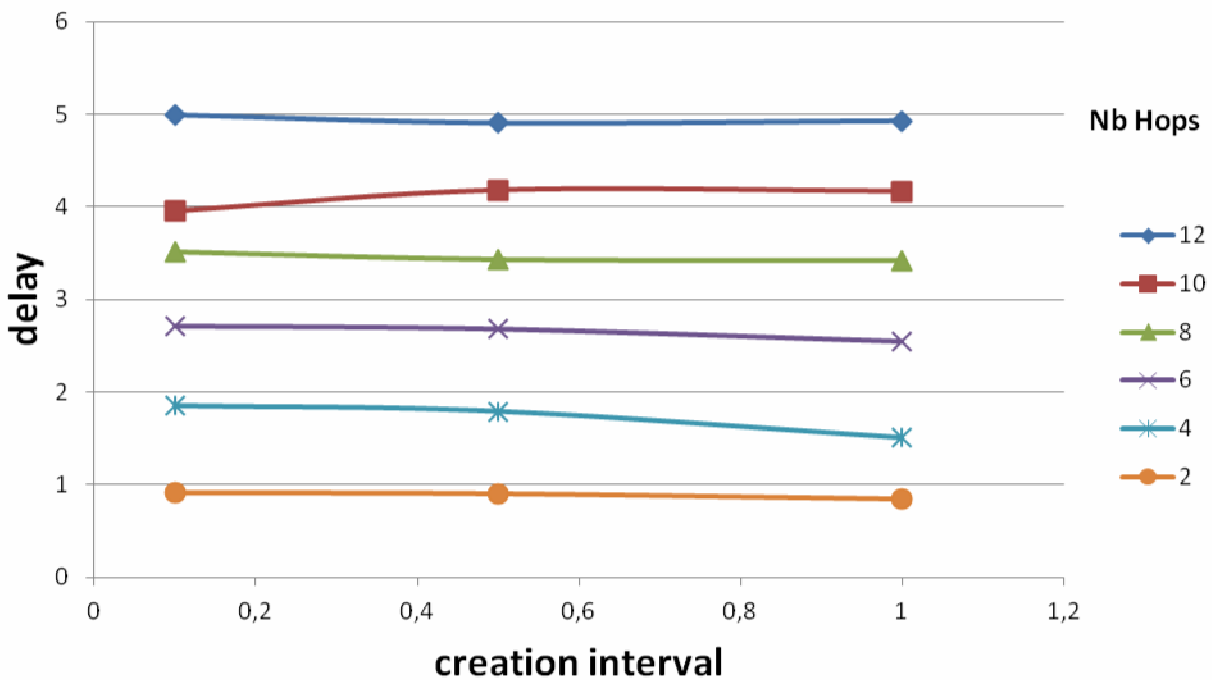


Εικόνα 41: Διάγραμμα που δείχνει την απώλεια πακέτων στο χρονικό διάστημα 1s, 0.5s, 0.1s

Παρατηρούμε από την εικόνα 35 ότι στο μικρότερο χρονικό διάστημα και στο μεγαλύτερο Nb Hops έχουμε την μεγαλύτερη απώλεια πακέτων. Πιο συγκεκριμένα την μεγαλύτερη απώλεια πακέτων την βλέπουμε όταν στέλνει ο κόμβος 48 στον κόμβο 0. Όσον αφορά το χρονικό διάστημα στο 0,1s έχουμε την μεγαλύτερη απώλεια πακέτων. Από το διάστημα 0,5s έως το 1s τα αποτελέσματα κυμαίνονται με μικρή απόκλιση ποσοστού έως 5%.

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε την καθυστέρηση (delay) στο χρονικό διάστημα 0.1s,0.5s και 1s.

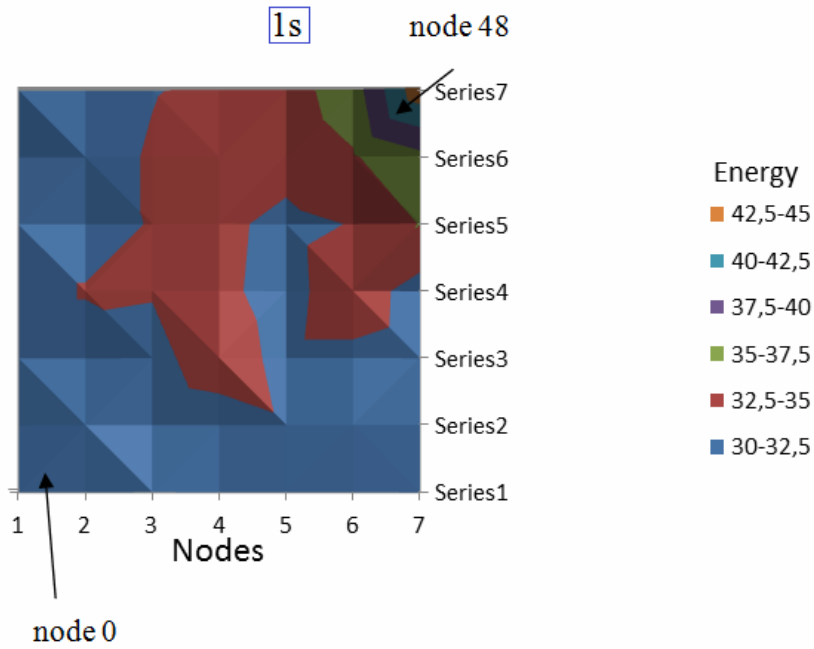
	12	10	8	6	4	2
1	4,93	4,17	3,42	2,55	1,51	0,85
0,5	4,91	4,18	3,43	2,68	1,79	0,9
0,1	4,99	3,95	3,51	2,71	1,85	0,91



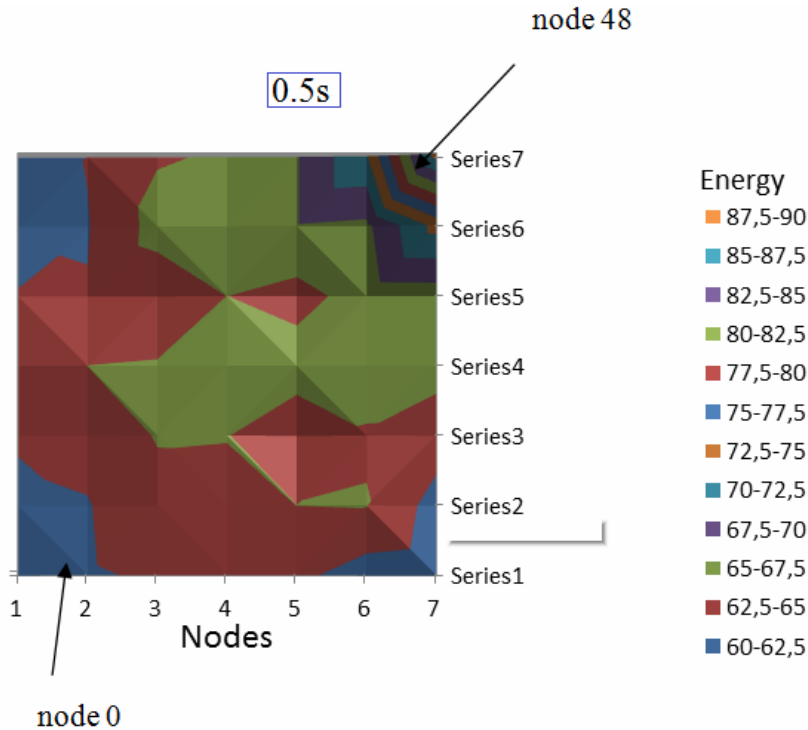
Εικόνα 42: Διάγραμμα που δείχνει την καθυστέρηση στο χρονικό διάστημα 1s,0.5s,0.1s.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 32 όσο μεγαλύτερο είναι το Nb Hops τόσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση το οποίο είναι και αναμενόμενο καθώς βρίσκεται ο κόμβος 48 που βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από τον παραλήπτη, που είναι ο κόμβος 0. Σε γενικές γραμμές και κοιτώντας το χρονικό διάστημα οι τιμές στην καθυστέρηση μετάδοσης πακέτων κυμαίνονται σχεδόν στα ίδια επίπεδα.

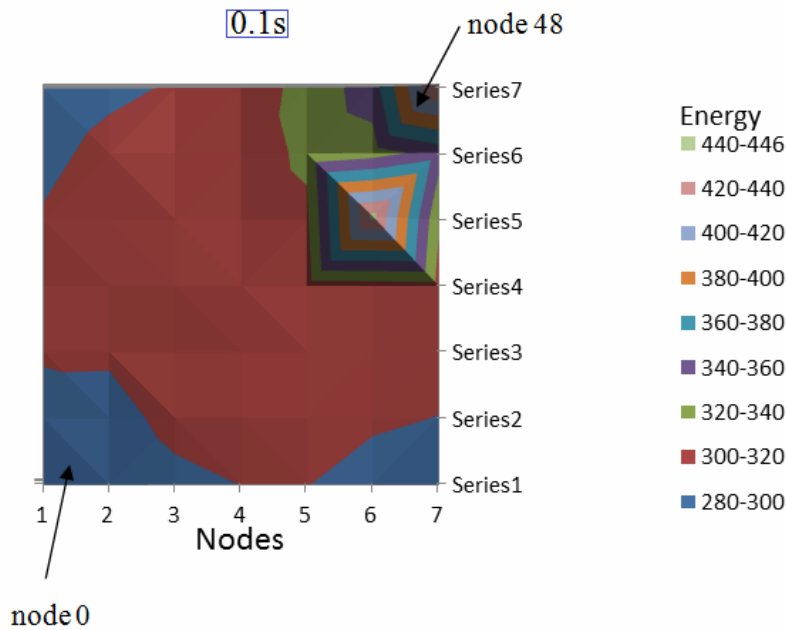
Τέλος θα δούμε τις γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν την ενέργεια που καταναλώθηκε κατά την διάρκεια της προσομοίωσης στο χρονικό διάστημα 0.1s, 0.5s και 1s. Για την περίπτωση που στέλνει ο node 48 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 43: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 1s.



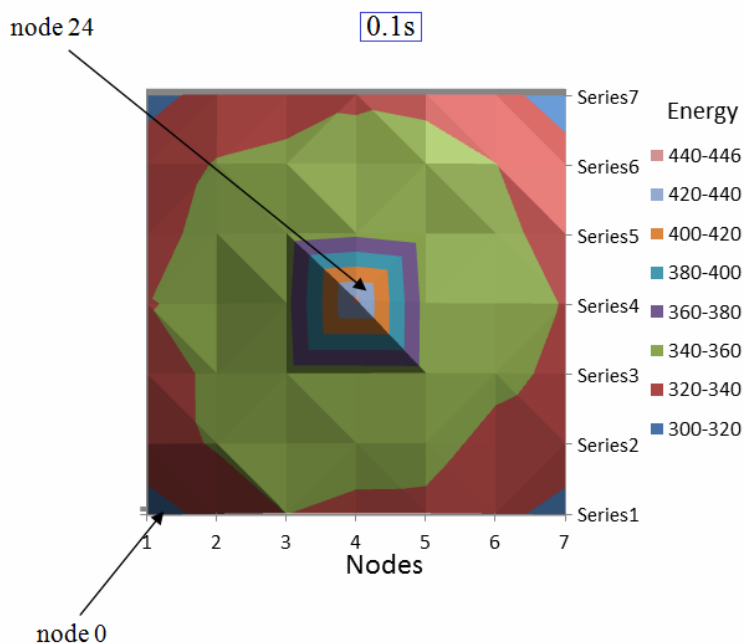
Εικόνα 44: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.5s.



Εικόνα 45: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Από τα σχήματα παρατηρούμε κατανάλωση ενέργειας στον κόμβο 48 που σημαίνει ότι ο συγκεκριμένος κόμβος είναι ο transmitter. Στο χρονικό διάστημα 0.5s παρατηρούμε μια αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό περίπου στο 50% σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα. Στο χρονικό διάστημα 0.1s παρατηρούμε μια αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό περίπου στο 200% σε σχέση με τα προηγούμενα σχήματα, δηλαδή στο 1s,0.5s.

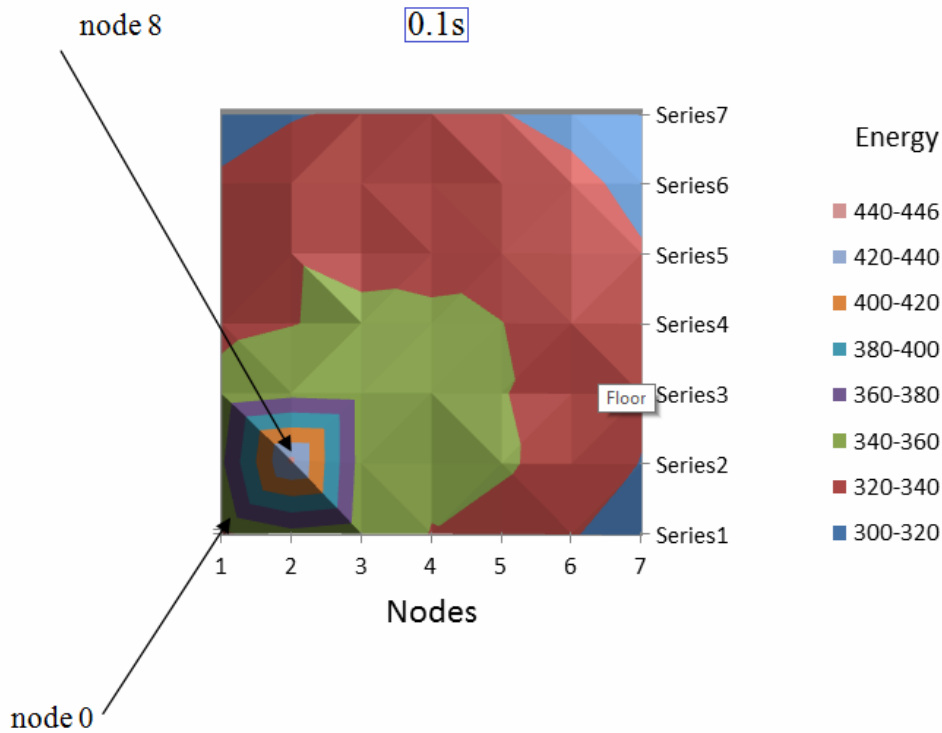
Για την περίπτωση που στέλνει ο node 24 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 46: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Στο χρονικό διάστημα 0.1s παρατηρούμε μια αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό περίπου στο 200% σε σχέση με τα προηγούμενα σχήματα, δηλαδή στο 1s,0.5s.

Για την περίπτωση που στέλνει ο node 8 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



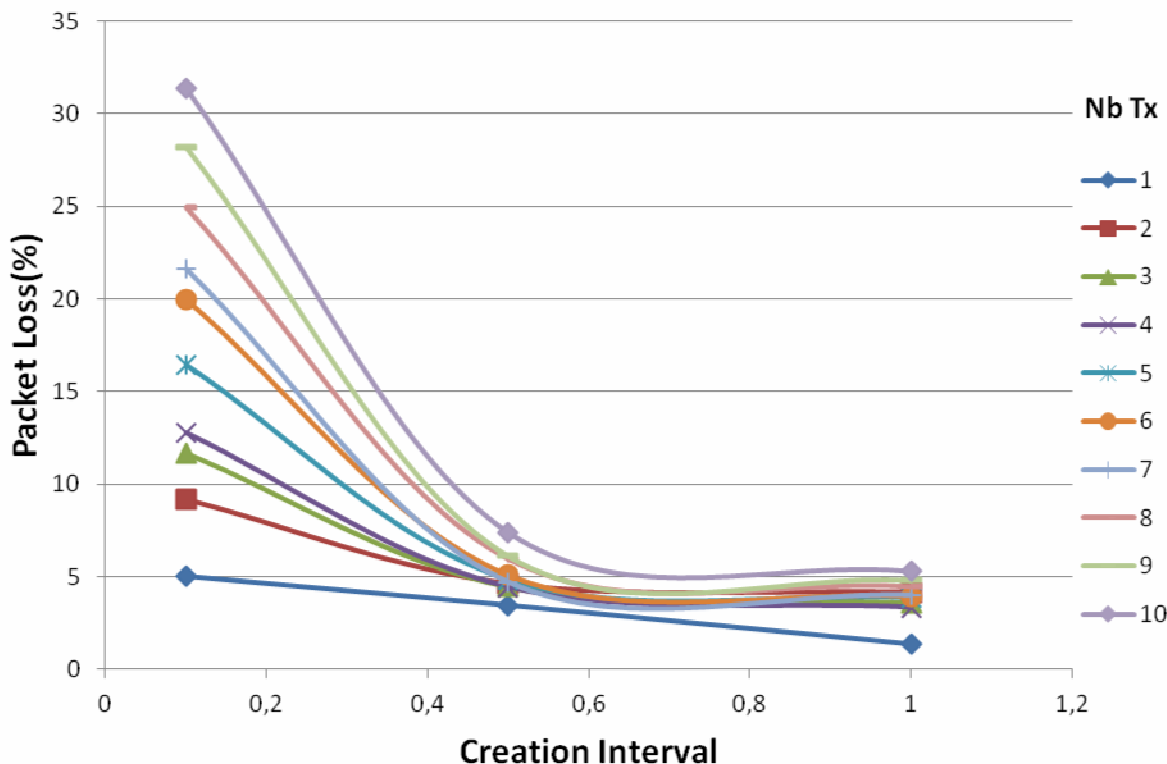
Εικόνα 47: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Στο χρονικό διάστημα 0.1s παρατηρούμε μια αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό περίπου στο 200% σε σχέση με τα προηγούμενα σχήματα, δηλαδή στο 1s,0.5s. Συγκριτικά με τα προηγούμενα σχήματα δηλαδή όταν στέλνουν ο κόμβος 48 στον κόμβο 0 και ο κόμβος 24 στον κόμβο 0 στο χρονικό διάστημα 0,1s ,καθώς στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε έναν transmitter εύκολα καταλαβαίνουμε βάση των σχημάτων την αύξηση στη κατανάλωση ενέργειας στα σημεία που βρίσκονται οι transmitters. Παρατηρούμε επίσης όπως φαίνεται και από το σχήμα ότι η κλίμακα ενέργειας κυμαίνεται στις ίδιες τιμές. Στο probabilistic πρωτόκολλο μπορούμε να πούμε επίσης ότι εκτός από τον transmitter και τον receiver επηρεάζεται και το υπόλοιπο δίκτυο καθώς βλέπουμε μικρή κατανάλωση ενέργειας και στην υπόλοιπη τοπολογία. Σε αυτό το σενάριο ελέγξαμε όταν στέλνουν οι κόμβοι 48,24 και 8 ο καθένας ξεχωριστά στον κόμβο 0.

4.3.4 Probabilistic Grid Multiple Transmitter Centralized Scenario

Σε αυτό το σενάριο θα μελετήσουμε την ίδια ακριβώς τοπολογία με τις ίδιες παραμέτρους στα ίδια χρονικά διαστήματα με την μόνη διαφορά ότι στην προκειμένη περίπτωση ο receiver node0 να είναι ο κεντρικός δηλαδή ο node 24. Στη συνέχεια αφού αλλάξουμε το node 0 με τον node 24 θα διαλέξουμε και δέκα τυχαίους node γειτονικούς. Στην περίπτωσή μας διαλέξαμε τους εξής nodes: 45,43,34,30,21,20,18,14,5,1. Σε αυτό το σενάριο για αρχή στέλνει ο 45 στον 0 και έπειτα προσθέτουμε κάθε φορά και έναν transmitter μέχρις ότου στείλουν όλοι προς τον receiver. Στην αρχή θα δούμε και σε αυτό το σενάριο την απώλεια πακέτων στα χρονικά διαστήματα 0.1s,0.5s και 1s.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,35	4,15	3,61	3,34	3,86	3,95	4,01	4,47	4,82	5,3
0,5	3,47	4,61	4,46	4,44	4,83	5,09	4,7	5,96	6,13	7,39
0,1	5,06	9,19	11,7	12,77	16,43	20	21,6	24,93	28,2	31,39

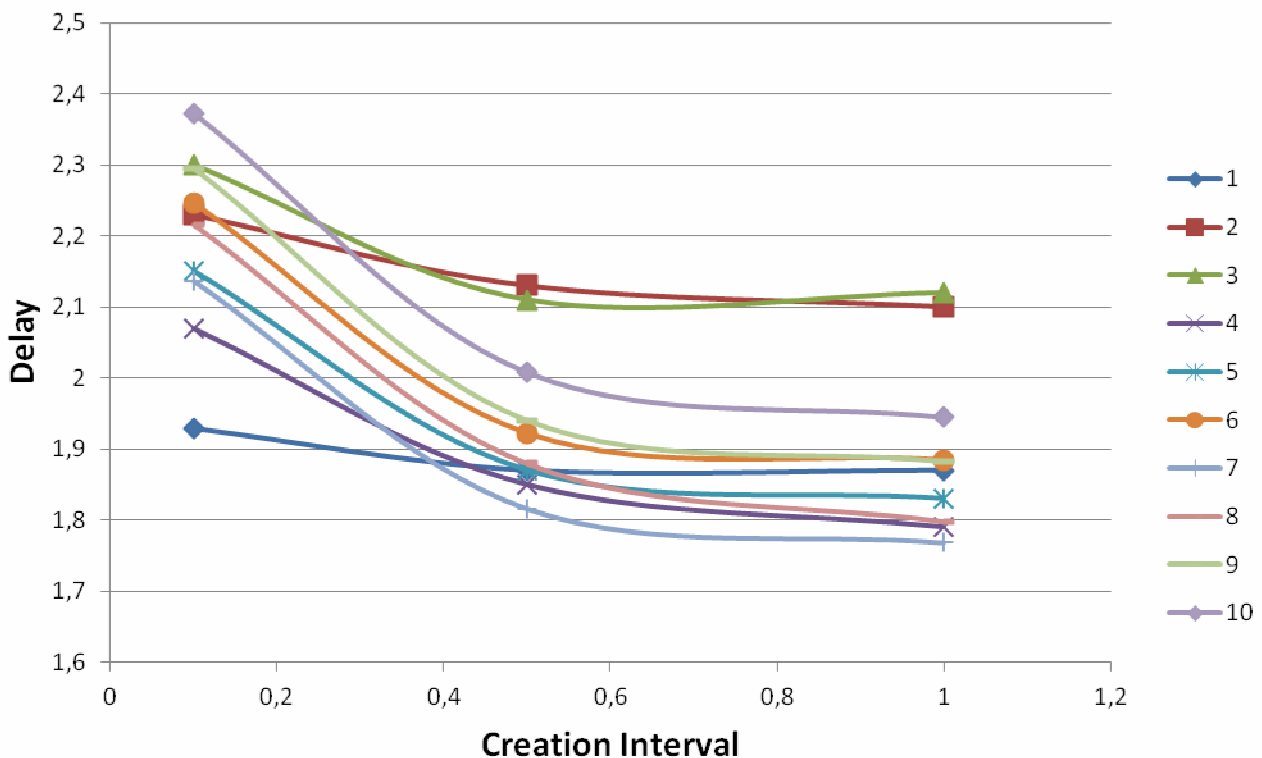


Εικόνα 48: Διάγραμμα που δείχνει την απώλεια πακέτων στο χρονικό διάστημα 1s, 0.5s, 0.1s

Όπως παρατηρούμε από το σχήμα (εικόνα 48) η απώλεια πακέτων είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται ο αριθμός των transmitters. Όπως φαίνεται από το σχήμα στο χρονικό διάστημα 0,1s έχουμε τη μεγαλύτερη απώλεια πακέτων αγγίζοντας το ποσοστό του 31,39%. Στα άλλα δυο χρονικά διαστήματα του 0.5s και 1s η απώλεια πακέτων είναι σχετικά μικρή από 3 έως 7%.

Μετά θα δούμε και την καθυστέρηση στο χρονικό διάστημα 0.1s,0.5s και 1s.Και εδώ παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των transmitters τόσο μεγαλύτερη είναι και η καθυστέρηση.

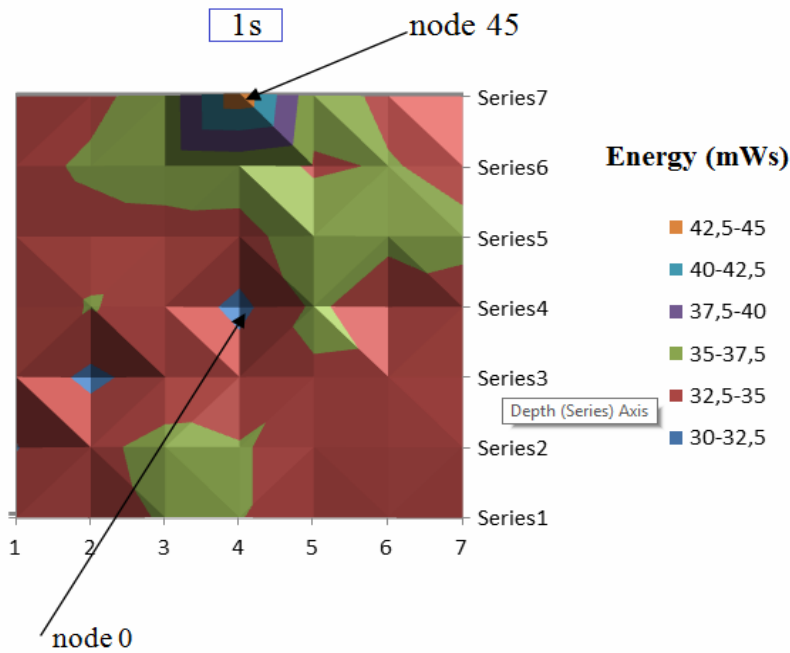
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,87	2,1	2,12	1,79	1,83	1,884558	1,768346	1,798326	1,882262	1,944868
0,5	1,87	1,37	2,11	1,85	1,87	1,922329	1,81618	1,879707	1,939911	2,008171
0,1	1,93	2,23	2,3	2,07	2,15	2,246448	2,136069	2,21486	2,294	2,372652



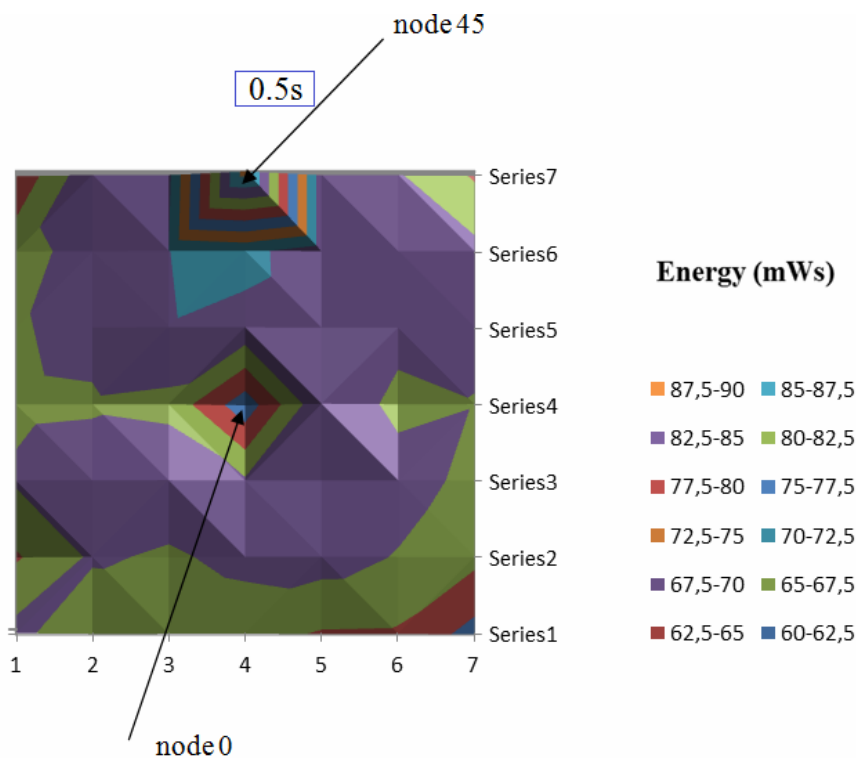
Εικόνα 49: Διάγραμμα που δείχνει την καθυστέρηση στο χρονικό διάστημα 1s,0.5s,0.1s

Και εδώ παρατηρούμε (εικόνα 49) ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των transmitters τόσο μεγαλύτερη είναι και η καθυστέρηση. Από το παραπάνω σχήμα αντιλαμβανόμαστε ότι στο χρονικό διάστημα 0.1s όταν στέλνουν οι δέκα κόμβοι στον κόμβο 0 έχουμε την μεγαλύτερη καθυστέρηση στην μετάδοση των πακέτων. Στο χρονικό διάστημα 0.5 και 1 οι τιμές της καθυστέρησης κυμαίνονται σχεδόν στα ίδια επίπεδα από 1,3 έως 2.

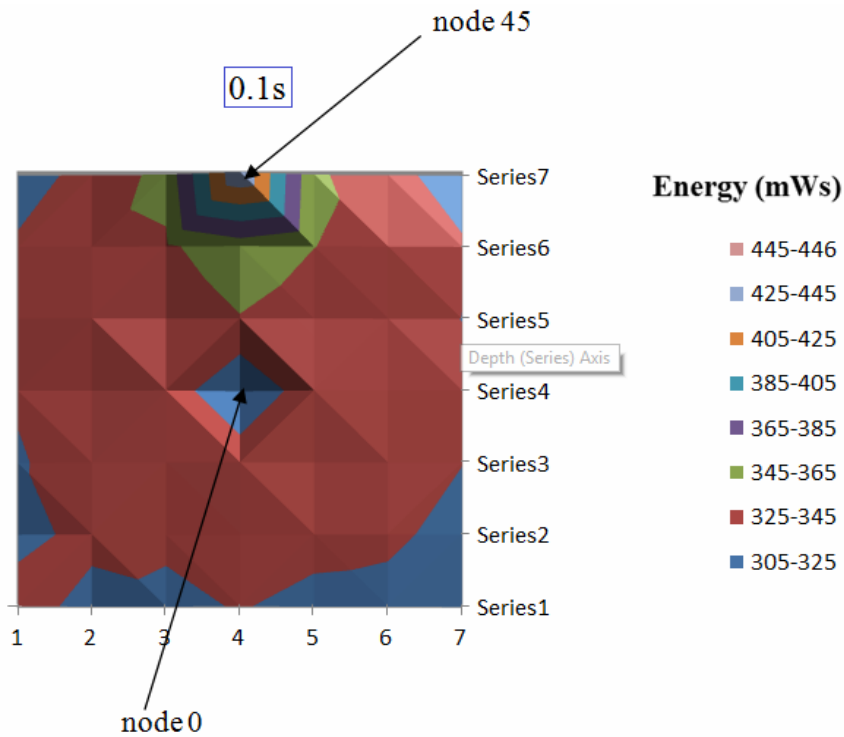
Τέλος θα δούμε την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s, 0.5s και 1s. Για την περίπτωση που στέλνει ο node 45 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 50: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 1s.



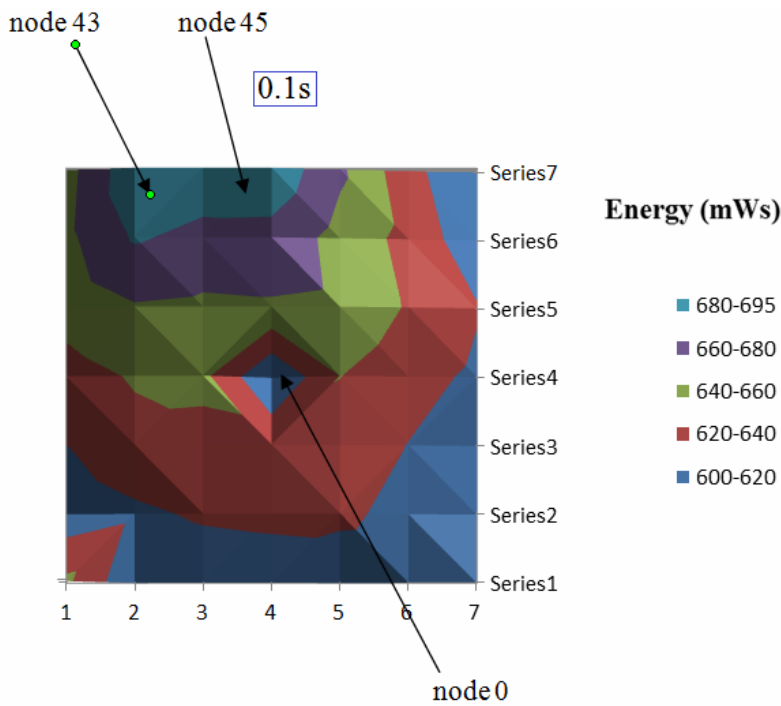
Εικόνα 51: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.5s



Εικόνα 52: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Στο 1s παρατηρούμε στο παραπάνω σχήμα μια αυξημένη κατανάλωση ενέργειας στην περιοχή που βρίσκεται ο κόμβος 45 που είναι και στην περίπτωση μας ο transmitter. Στο 0,5s όπως παρατηρούμε την κατανάλωση ενέργειας αυξημένη περίπου στο 50% στην περιοχή που βρίσκεται ο κόμβος σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα. Στο 0,1s όπως φαίνεται η κατανάλωση ενέργειας είναι αυξημένη περίπου στο 200% στην περιοχή που βρίσκεται ο κόμβος σε σχέση με τα προηγούμενα σχήματα.

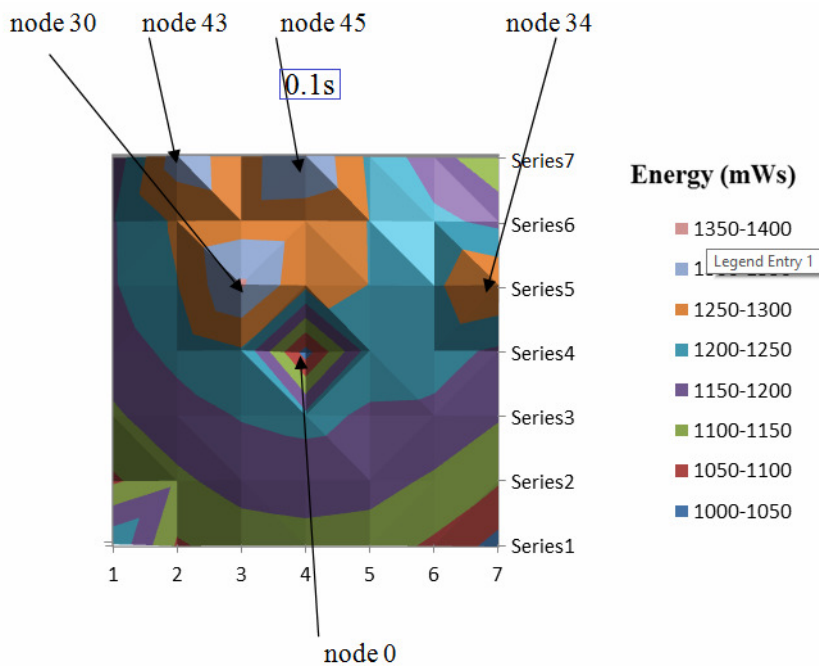
Για την περίπτωση που στέλνουν οι node 45,43 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 53: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Στο 0,1s όπως παρατηρούμε στο παραπάνω σχήμα (εικόνα 53) την κατανάλωση ενέργειας αυξημένη περίπου στο 200% στην περιοχή που βρίσκεται ο κόμβος σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα (εικόνα 52)

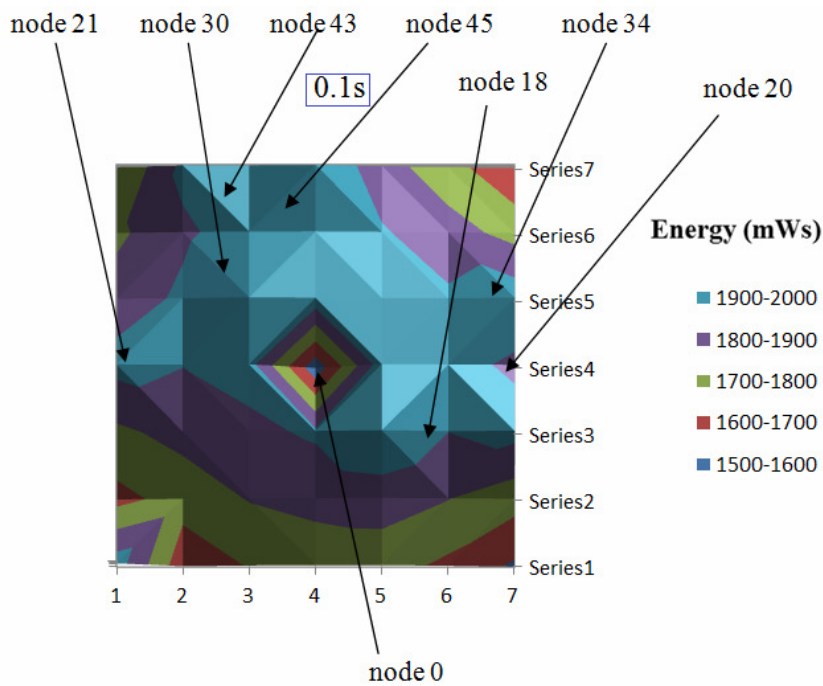
Για την περίπτωση που στέλνουν οι node 45,43,34,30 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 54: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Στο 0,1s όπως παρατηρούμε στο παραπάνω σχήμα (εικόνα 54) την κατανάλωση ενέργειας αυξημένη περίπου στο 200% στην περιοχή που βρίσκεται ο κόμβος σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα (εικόνα 53)

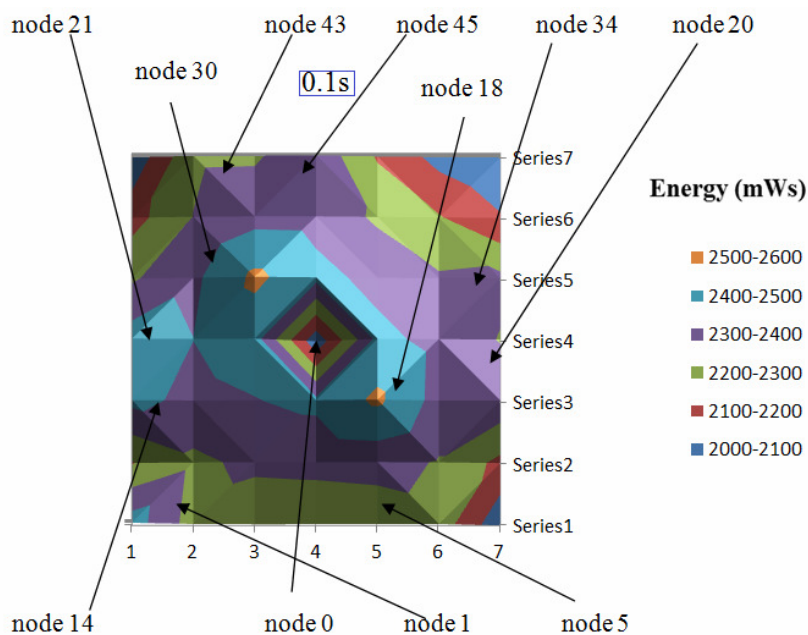
Για την περίπτωση που στέλνουν οι node 45,43,34,30,21,20,18 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 55: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Στο 0,1s όπως παρατηρούμε στο παραπάνω σχήμα (εικόνα 55) την κατανάλωση ενέργειας αυξημένη περίπου στο 200% στην περιοχή που βρίσκονται οι κόμβοι σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα (εικόνα 54).

Για την περίπτωση που στέλνουν οι node 45,43,34,30,21,20,18,14,5 και 1 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 56: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Στο 0,1s όπως παρατηρούμε στο παραπάνω σχήμα την κατανάλωση ενέργειας αυξημένη περίπου στο 200% στην περιοχή που βρίσκονται οι κόμβοι σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα .Στο grid multiple transmitter centralized scenario έχουμε πολλαπλούς transmitter που στέλνουν στον κόμβο 0 , ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο στο συγκεκριμένο σενάριο. Στο προηγούμενο σενάριο είχαμε παρατηρήσει ότι η κλίμακα ενέργειας είχε τις ίδιες τιμές στο χρονικό διάστημα 0,1s.Στο συγκεκριμένο σενάριο όπως είναι και αναμενόμενο παρατηρούμε από τα παραπάνω σχήματα ότι οι τιμές στην κατανάλωση ενέργειας αυξάνονται όσο αυξάνεται και ο αριθμός των transmitters. Σημαντική αύξηση ενέργειας βλέπουμε πιο συγκεκριμένα όταν στέλνουν και οι 10 κόμβοι (45,43,34,30,21,20,18,14,5 και 1) καθώς έχει επηρεαστεί όλο το δίκτυο και πιο συγκεκριμένα στις περιοχές που είναι και οι κόμβοι που στέλνουν στον κόμβο 0.Ενώ την λιγότερη κατανάλωση την βλέπουμε μόνο όταν στέλνει ένας κόμβος, δηλαδή 0 45.

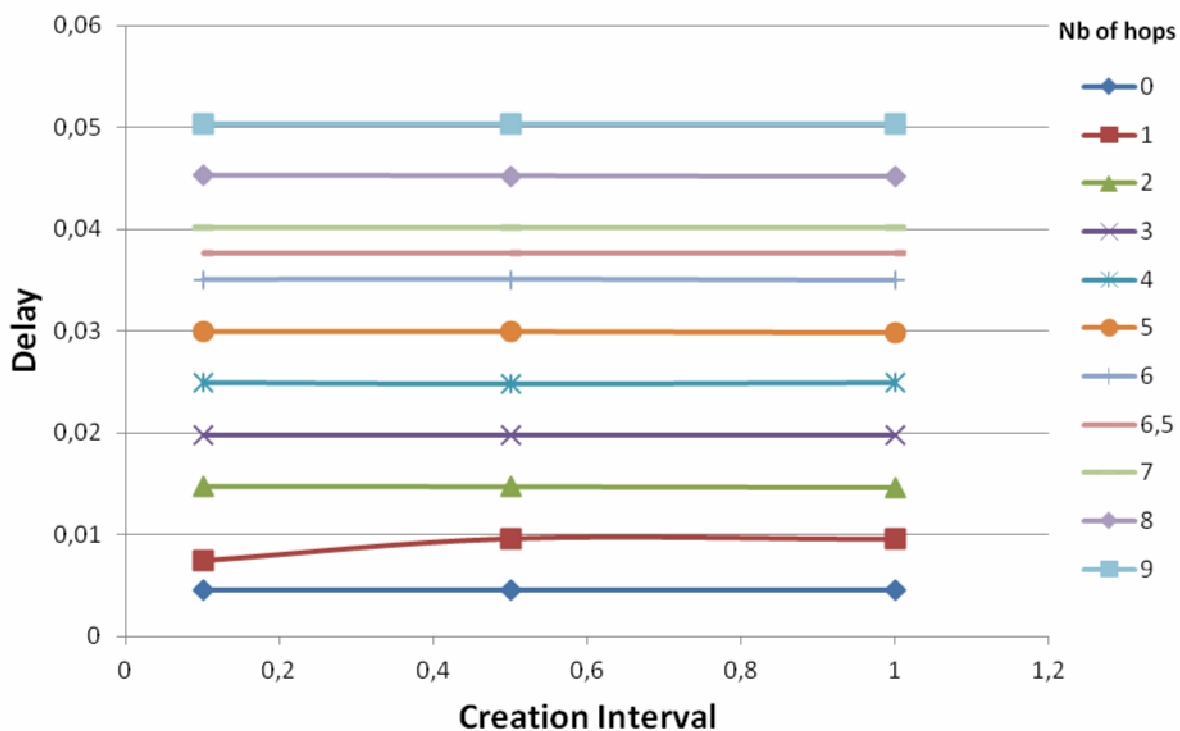
4.4 Ανάλυση απόδοσης Wise Route

4.4.1 Wise route Straight (single Transmitter scenario)

Σε αυτό το σενάριο όπως αναφέραμε και στην αρχή του κεφαλαίου έχουμε 10 κόμβους (nodes) στη σειρά. Ο node 0 είναι ο receiver και ο κάθε κόμβος ξεχωριστά είναι ο transmitter. Παρακάτω θα δούμε τις γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν την απώλεια πακέτων (packet loss) και την καθυστέρηση (delay) σε σύγκριση με το χρονικό διάστημα (creation interval). Αρχικά μελετήσαμε την απώλεια πακέτων από 0.1s, 0.5s και 1s. Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν έχουμε καθόλου απώλεια πακέτων.

Στη συνέχεια βλέπουμε στην επόμενη γραφική παράσταση την καθυστέρηση (delay) στο χρονικό διάστημα 0.1s, 0.5s και 1s.

	0	1	2	3	4	5	6	6,5	7	8	9
1	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,0299	0,035	0,038	0,04	0,045	0,05
0,5	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,038	0,04	0,045	0,05
0,1	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,038	0,04	0,045	0,05

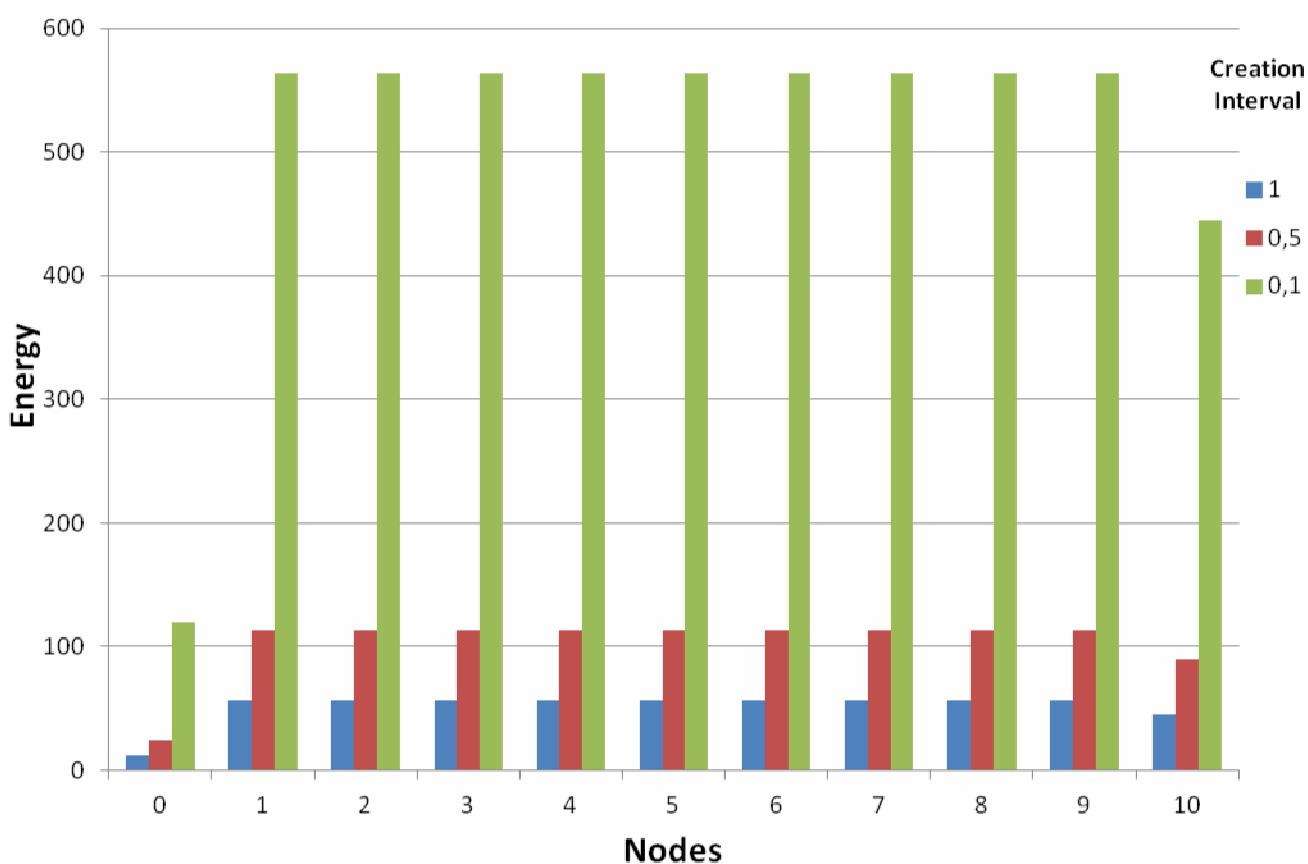


Εικόνα 57: Διάγραμμα που δείχνει την απώλεια πακέτων στο χρονικό διάστημα 1s, 0.5s, 0.1s

Όπως παρατηρούμε όσο μεγαλύτερο το Nb hops τόσο μεγαλύτερη είναι και η καθυστέρηση, που είναι φυσιολογικό καθώς είναι και μεγαλύτερη η απόσταση του transmitter από τον receiver. Στο wise route straight single transmitter scenario τα πράγματα είναι πιο ξεκάθαρα γραφικά καθώς και στα τρία χρονικά διαστήματα (δηλ. 1s, 0.5s, 0.1s) καθυστέρηση κυμαίνεται στις ίδιες τιμές.

Τέλος θα δούμε τις γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν την ενέργεια που καταναλώθηκε κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Ο κόμβος 10 στέλνει στο κόμβο 0 και η κατανάλωση ενέργειας φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	12,3549	56,8026	56,8026	56,8026	56,8026	56,8026	56,80262	56,8063	56,73096	56,73096	44
0,5	24,2799	113,175	113,175	113,175	113,175	113,175	113,1753	113,1753	113,1753	113,1753	89
0,1	119,68	564,105	564,085	564,085	564,013	564,013	564,0132	564,0132	564,0132	564,0132	44

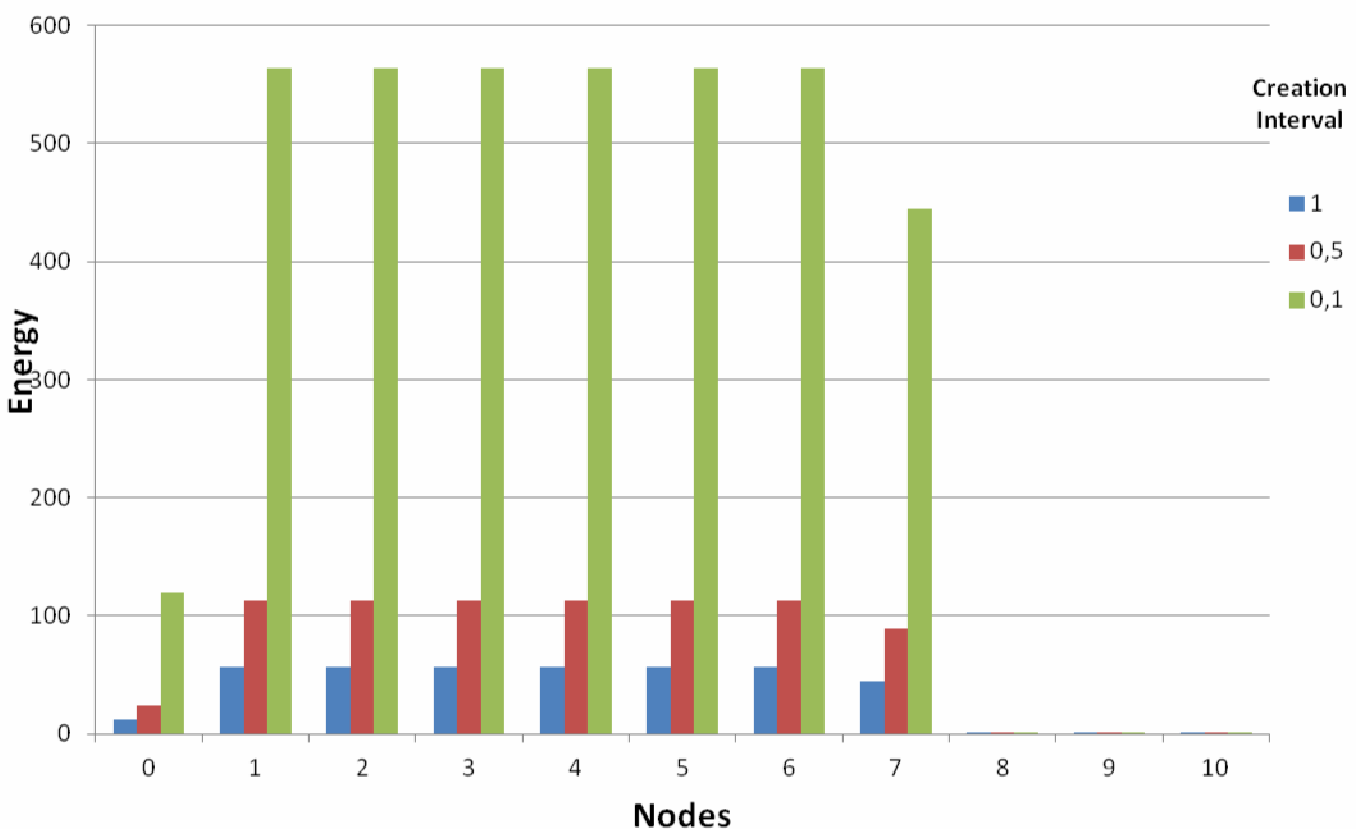


Εικόνα 58: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνει ο κόμβος 10 στον κόμβο 0.

Στην περίπτωση αυτή βλέπουμε ότι ο κόμβος 10 και ο κόμβος 0 έχουν την χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Ο κόμβος 10 είναι ο transmitter και ο κόμβος 0 ο receiver. Τώρα κοιτώντας τους υπόλοιπους κόμβους παρατηρούμε ότι η ενέργεια είναι ίδια σε όλους στα χρονικά διαστήματα 1s, 0.5s, 0.1s που σημαίνει ότι μένει ανεπηρέαστη.

Στη συνέχεια ο node 7 στέλνει στον node 0 και έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	12,3549	56,80262	56,8026	56,8026	56,80262	56,8026	56,8026	44,8776	0,42996	0,429961	0,429961
0,5	24,2799	113,1753	113,175	113,175	113,1753	113,175	113,175	89,3253	0,42996	0,429961	0,429961
0,1	119,68	564,1566	564,157	564,157	564,1566	564,157	564,085	444,835	0,3583	0,358301	0,358301

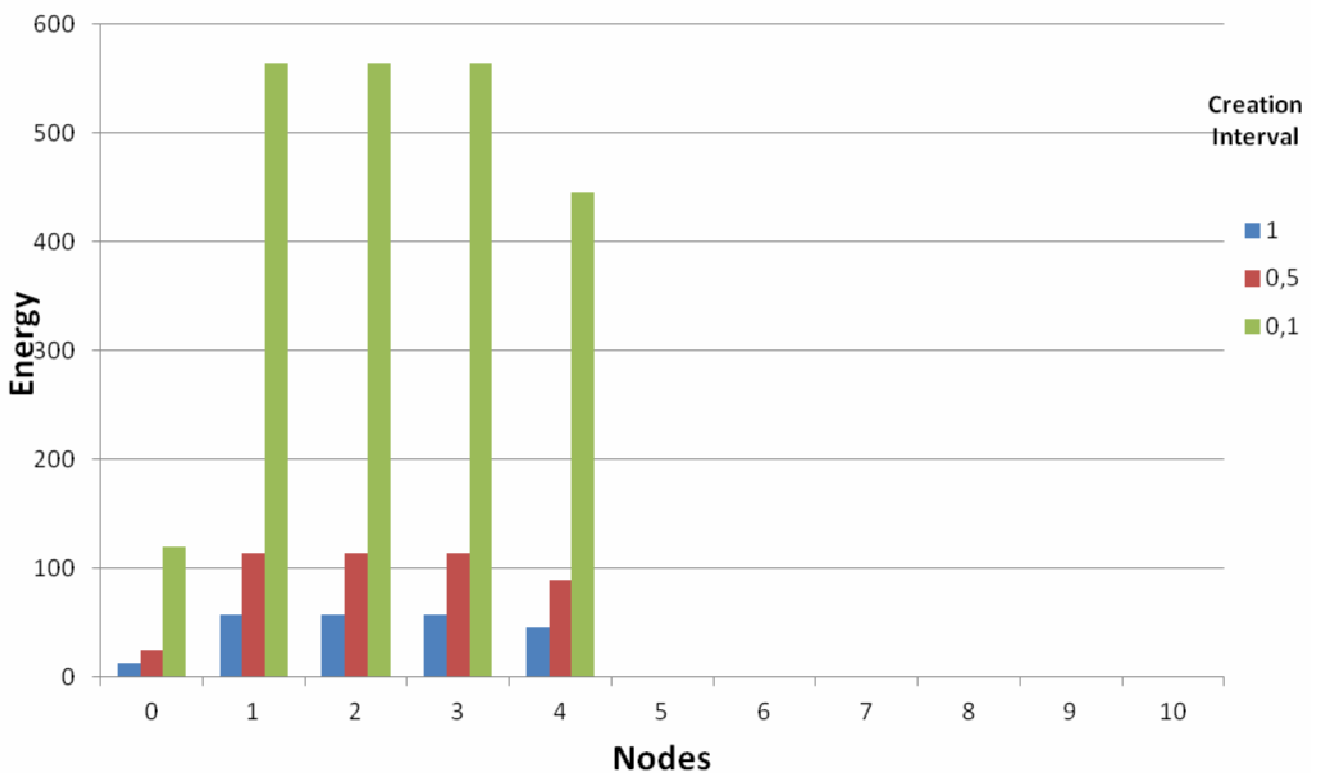


Εικόνα 59: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνει ο κόμβος 7 στον κόμβο 0.

Στην περίπτωση αυτή βλέπουμε ότι ο κόμβος 7 και ο κόμβος 0 έχουν την χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Ο κόμβος 7 είναι ο transmitter και ο κόμβος 0 ο receiver. Παρατηρούμε επίσης ότι οι κόμβοι 8,9,10 έχουν σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας καθώς δεν στέλνουν πακέτα και δεν λειτουργούν ως ενδιάμεσοι κόμβοι.

Στη συνέχεια ο node 4 στέλνει στον node 0 και έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	12,35	56,8	56,8	56,8	44,88	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
0,5	24,28	113,2	113,2	113,2	89,33	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
0,1	119,7	564,2	564,2	564,2	444,9	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43



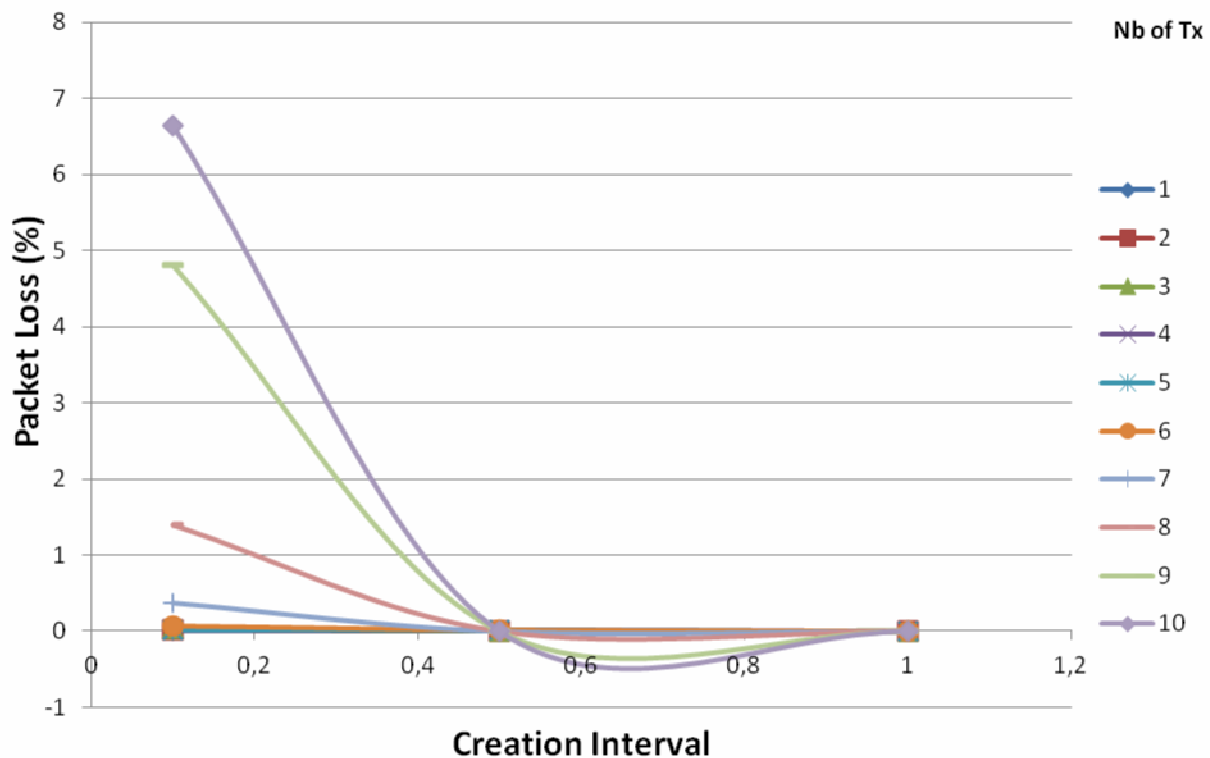
Εικόνα 60: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνει ο κόμβος 4 στον κόμβο 0.

Στην περίπτωση αυτή βλέπουμε ότι ο κόμβος 4 και ο κόμβος 0 έχουν την χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Ο κόμβος 4 είναι ο transmitter και ο κόμβος 0 ο receiver. Παρατηρούμε επίσης ότι οι κόμβοι 5,6,7,8,9,10 έχουν σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας καθώς δεν στέλνουν πακέτα και δεν λειτουργούν ως ενδιάμεσοι κόμβοι.

4.4.2 Wise route straight (Multiple Transmitters scenario)

Στο δεύτερο σενάριο της straight τοπολογίας του wise route πρωτοκόλλου έχουμε πολλαπλούς transmitters με receiver τον κόμβο 0. Αρχικά και σε αυτό το σενάριο φαίνεται η απώλεια πακέτων στο χρονικό διάστημα 0.1s, 0.5s και 1s.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0	0	0	0,021	0,017	0,01	0	0	0	0
0,1	0,017	0,01	0,03	0,017	0,024	0,06	0,37	1,4	4,8	6,644

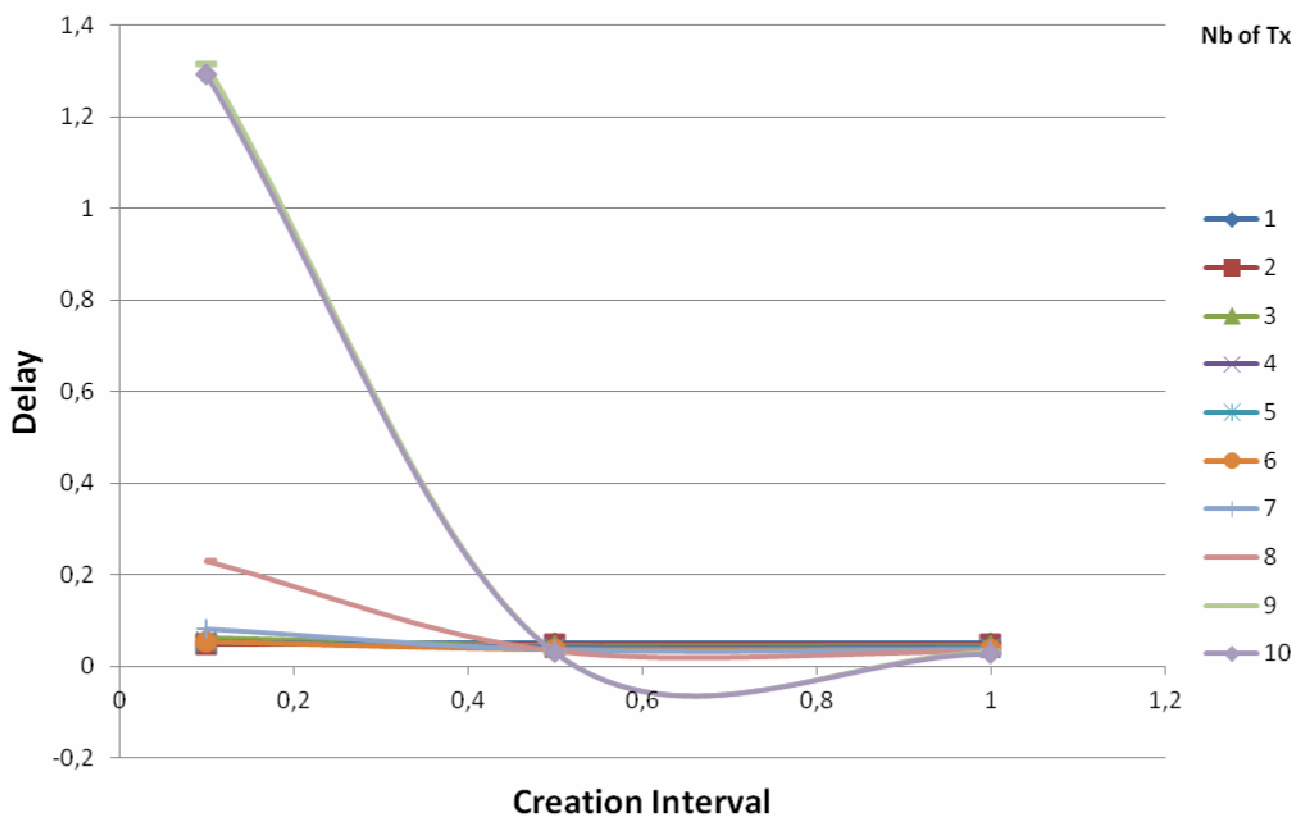


Εικόνα 61: Διάγραμμα που δείχνει την απώλεια πακέτων στο χρονικό διάστημα 1s, 0.5s, 0.1s.

Σύμφωνα με το σχήμα (εικόνα 61) παρατηρούμε την μεγαλύτερη απώλεια πακέτων στον μεγαλύτερο αριθμό των transmitter. Σε αυτό το σενάριο βλέπουμε μια αυξημένη απώλεια πακέτων στο χρονικό διάστημα 0,1s όταν ο αριθμός των κόμβων που στέλνουν στον κόμβο 0 είναι 10 και 9. Σε γενικές γραμμές όμως σε αυτό το πρωτόκολλο οι τιμές στην απώλεια πακέτων είναι ποσοστιαία πολύ μικρές, δηλαδή κυμαίνονται από 0,01% έως 6%.

Στο επόμενο διάγραμμα παρατηρούμε την καθυστέρηση (delay) στο χρονικό διάστημα 0.1s ,0.5s και 1s.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,05	0,05	0,05	0,043	0,04	0,04	0,04	0,03	0	0,027
0,5	0,05	0,05	0,05	0,043	0,04	0,04	0,04	0,03	0	0,03
0,1	0,05	0,05	0,06	0,055	0,053	0,05	0,08	0,23	1,3	1,293

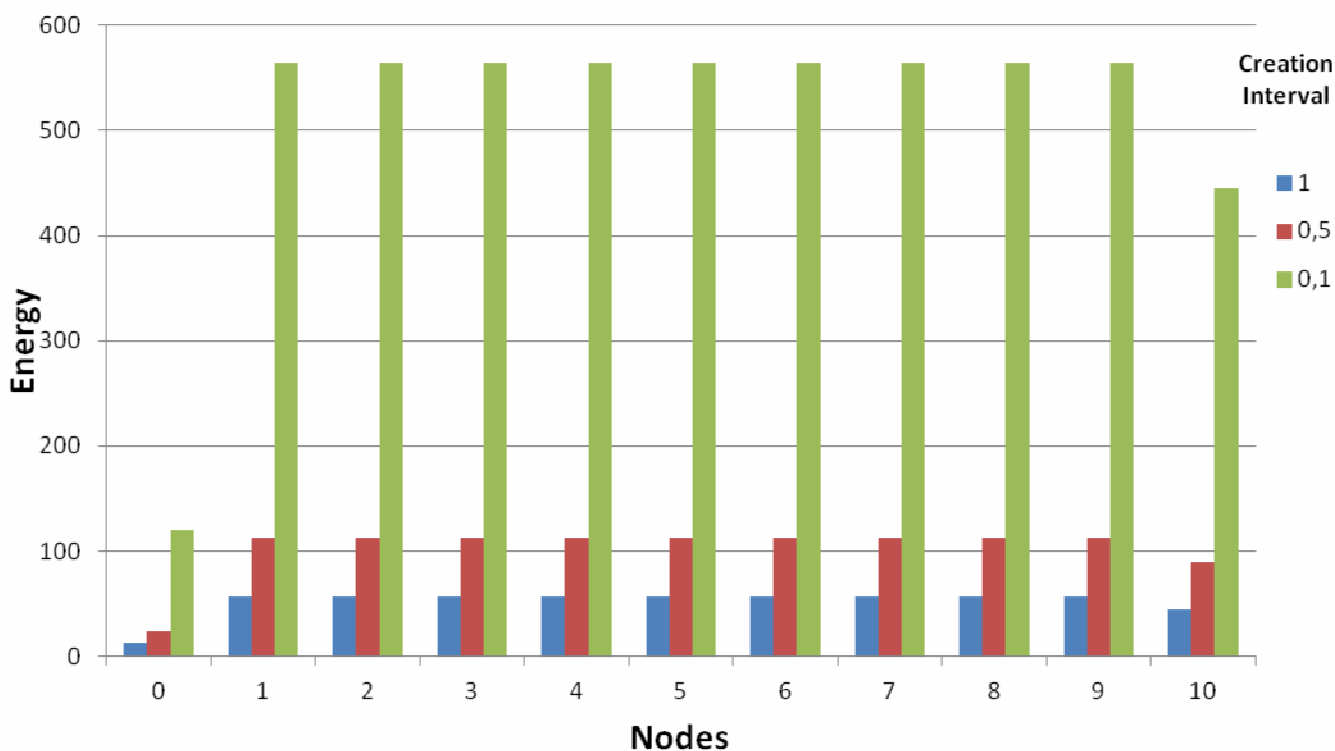


Εικόνα 62: Διάγραμμα που δείχνει την καθυστέρηση στο χρονικό διάστημα 1s,0.5s,0.1s.

Όπως και στην απώλεια πακέτων έτσι και στην καθυστέρηση παρατηρούμε την σημαντική αύξηση της όταν ο αριθμός των transmitter φθάνει στο μέγιστο του, δηλαδή όταν οι κόμβοι που στέλνουν είναι 10. Στα χρονικά διαστήματα 1s και 0,5s η καθυστέρηση στην μετάδοση πακέτων είναι σχεδόν μηδενική ενώ όπως φαίνεται και από το παραπάνω σχήμα σημαντική διαφορά γίνεται αντιληπτή στο 0,1s όταν οι transmitters είναι 9 και 10.

Τέλος, θα μετρήσουμε και σε αυτό το σενάριο την κατανάλωση ενέργειας κατά την διάρκεια της προσομοίωσης στο χρονικό διάστημα 0.1s,0.5s και 1s .Στην αρχή ο κόμβος 10 στέλνει πακέτα στον κόμβο 0.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	12,35	56,8	56,8	56,8	56,8	56,8	56,8	56,8	56,7	56,7	44,81
0,5	24,28	113,2	113,2	113,2	113,2	113,2	113,2	113	113	113	89,33
0,1	119,7	564,1	564,1	564,1	564	564	564	564	564	564	444,8

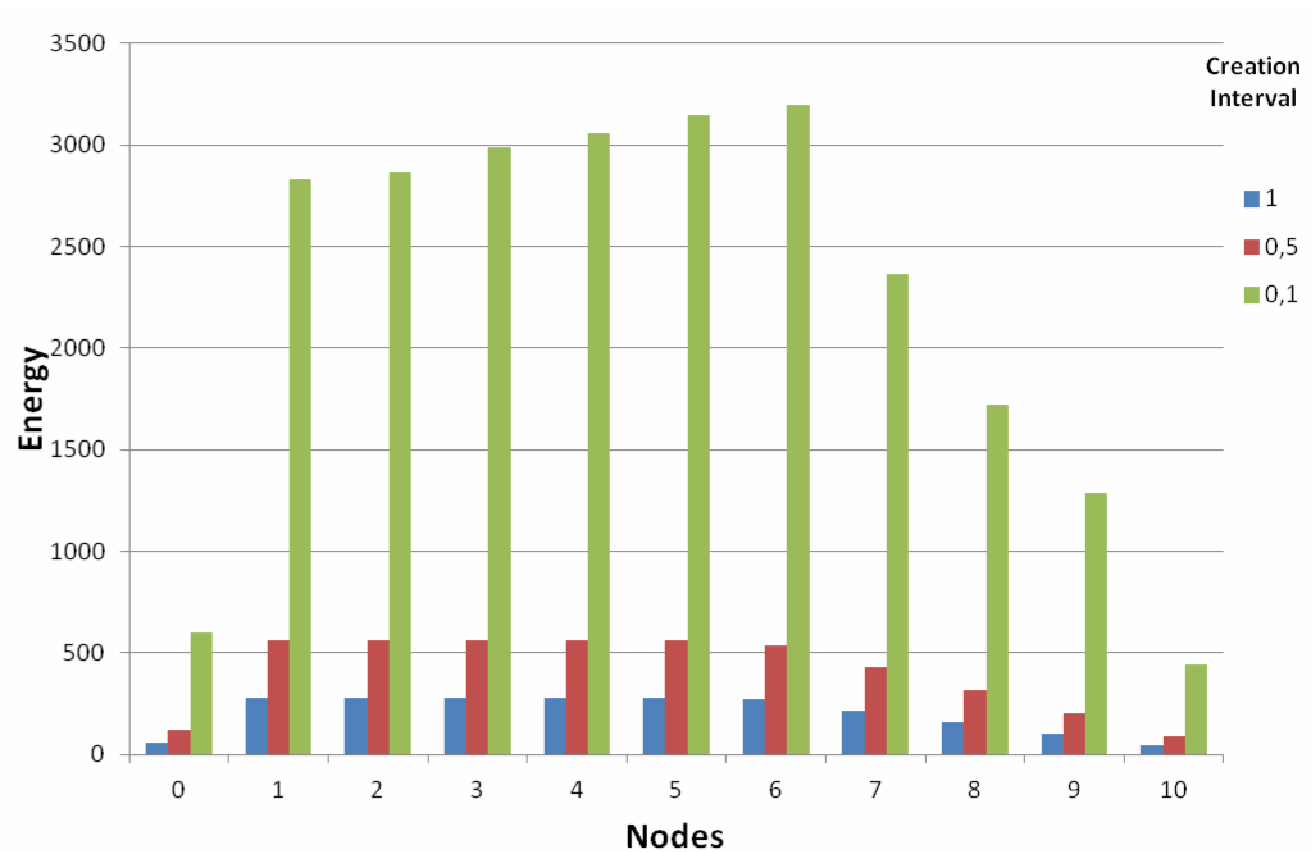


Εικόνα 63:Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνει ο κόμβος 10 στον κόμβο 0.

Στην περίπτωση που στέλνει ο κόμβος 10 στον κόμβο 0 δεν βλέπουμε μεγάλη διαφοροποίηση από την προηγούμενη περίπτωση καθώς και εδώ έχουμε μικρή κατανάλωση ενέργειας στον κόμβο 10 και 0. Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας στους άλλους κόμβους είναι ίδια στα χρονικά διαστήματα 1s,0.5s,0.1s.

Για την περίπτωση που στέλνουν οι κόμβοι 10,9,8,7,6 στον κόμβο 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	60,05	282,3	282,2	282,2	282,2	282,2	270,3	213,9	157,6	101,2	44,8
0,5	119,7	564,06	564,1	564,2	564,2	564,2	540,3	427,6	314,8	202,1	89,3
0,1	598,8	2829,8	2869	2990	3058	3146	3195	2365	1723	1288	445

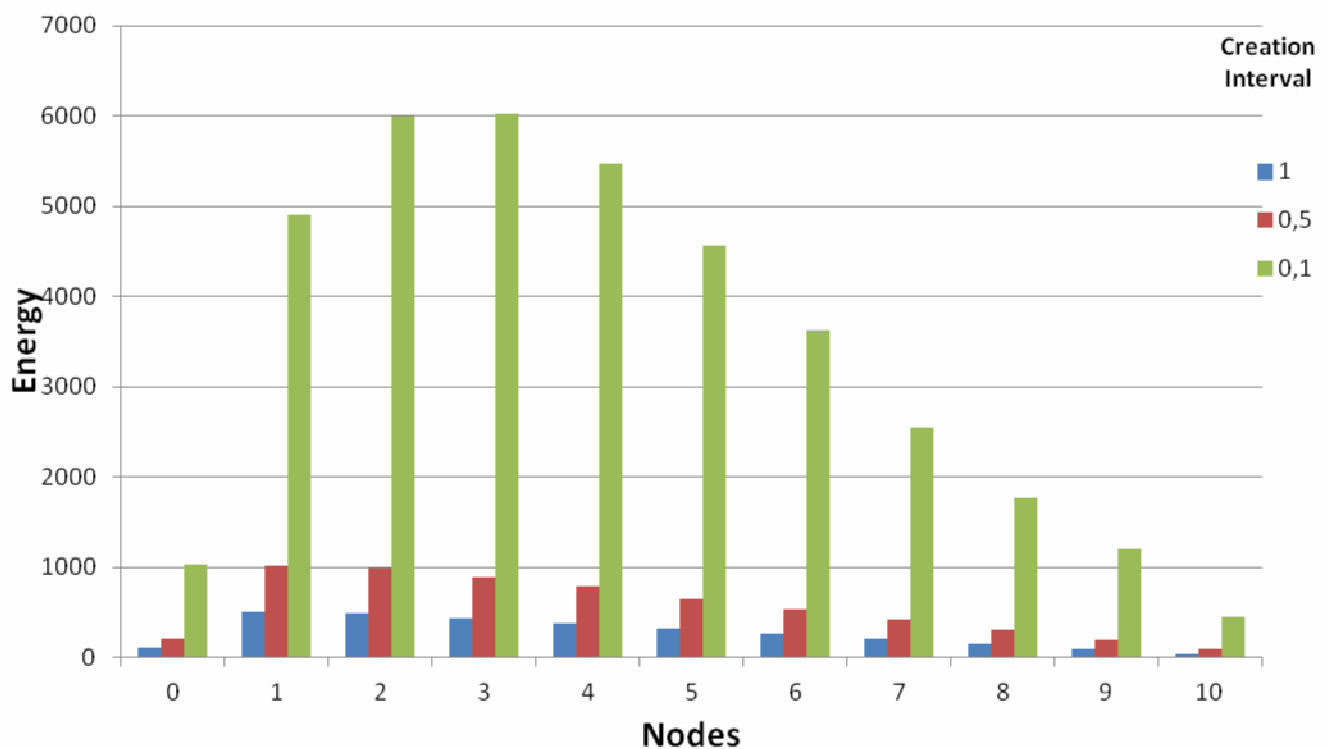


Εικόνα 64: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνουν οι κόμβοι 10,9,8,7,6 στον κόμβο 0.

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε προσθέσει τους κόμβους 9,8,7,6 στους transmitters, κάτι το οποίο είναι εύκολο να διακρίνουμε από το παραπάνω σχήμα (εικόνα 64). Αξιοσημείωτο και σε αυτή την περίπτωση είναι να πούμε ότι η κατανάλωση ενέργειας στους κόμβους που πιο μακριά βρίσκονται από τον προορισμό που είναι ο κόμβος 0 έχει χαμηλές τιμές, όπως βλέπουμε τι συμβαίνει με τον κόμβο 10.

Για την περίπτωση που στέλνουν οι κόμβοι 10,9,8,7,6,5,4,3,2 στον κόμβο 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	107,8	507,9	495,9	439,5	383,11	326,7	270,4	214	157,6	101,3	44,9
0,5	215,2	1016	994,8	896,9	794,88	653,1	540,3	427,5	314,7	202	89,3
0,1	1038	4906	5991	6019	5466,5	4561	3625	2553	1764	1203	445



Εικόνα 65: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας όταν στέλνουν οι κόμβοι 10,9,8,7,6,5,4,3,2 στον κόμβο 0.

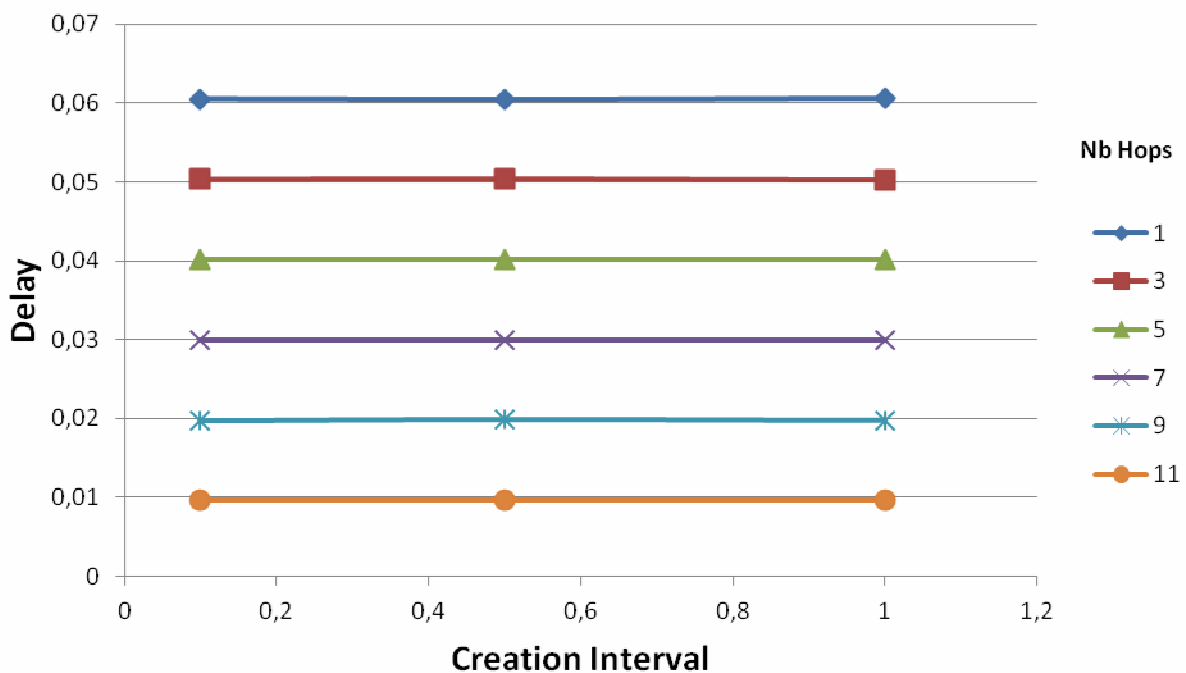
Σε αυτή την περίπτωση έχουμε προσθέσει τους κόμβους 5,4,3,2 στους transmitters, κάτι το οποίο είναι εύκολο να διακρίνουμε από το παραπάνω σχήμα (εικόνα 65). Όπως παρατηρούμε από το σχήμα είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι οι κόμβοι που βρίσκονται πιο μακριά από τον receiver έχουν την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

4.4.3 Wise route Grid Single Diagonal Transmitter

Με βάση την τοπολογία αυτή θα δούμε τις παραμέτρους packet loss, delay και Nb Hops στα χρονικά διαστήματα 0.1s, 0.5s και 1s στους παρακάτω πίνακες και στις γραφικές παραστάσεις. Στην αρχή μετρήσαμε την απώλεια πακέτων για το συγκεκριμένο σενάριο που είναι και εδώ μηδενική.

Ο παρακάτω πίνακας και το παραπάνω γράφημα μας δείχνουν την καθυστέρηση στα χρονικά διαστήματα 0.1s, 0.5s και 1s αλλά και τον αριθμό των hops που χρειάζεται κάθε transmitter ξεχωριστά για να φτάσει το πακέτο στον receiver.

	1	3	5	7	9	11
1	0,0605326	0,0502359	0,0402305	0,0299769	0,0198118	0,0095984
0,5	0,0604645	0,0504153	0,0401239	0,0299997	0,01985	0,0096491
0,1	0,060504	0,0503618	0,0401555	0,0300195	0,0197978	0,0096312

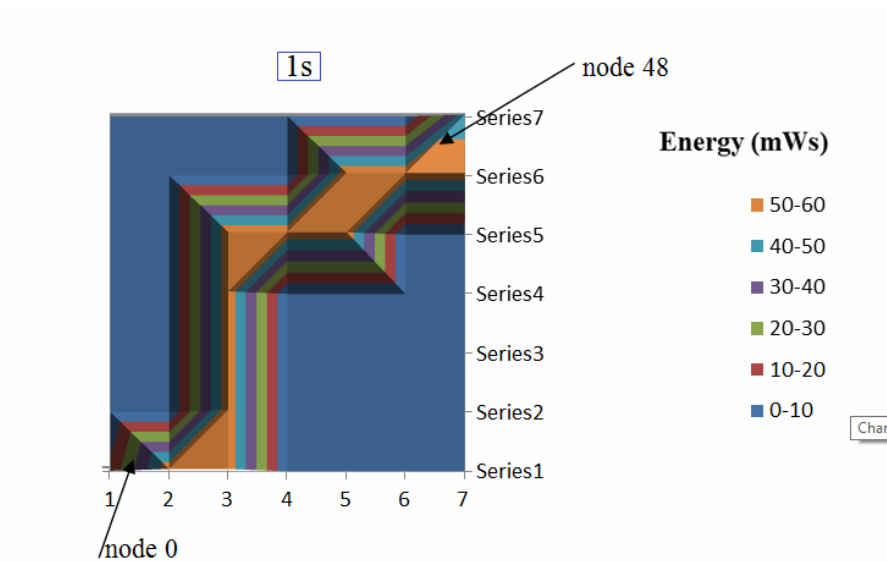


Εικόνα 66: Διάγραμμα που δείχνει την καθυστέρηση στο χρονικό διάστημα 1s, 0.5s, 0.1s

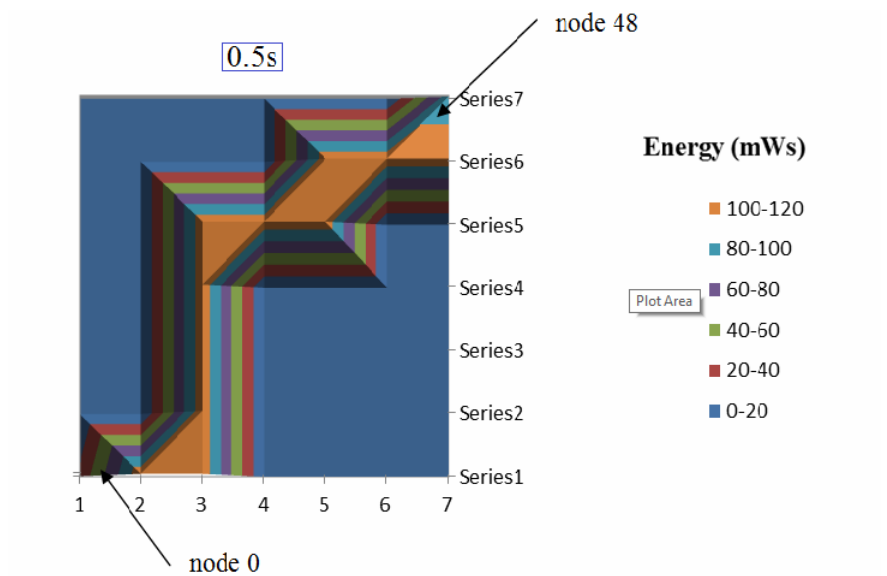
Αυτό που διαπιστώνουμε είναι ότι σε κάθε χρονικό διάστημα όσο ο αριθμός hops αυξάνεται η καθυστέρηση μειώνεται αισθητά με το χρόνο. Στο συγκεκριμένο σχήμα παρατηρούμε ότι φαίνεται ξεκάθαρα η καθυστέρηση στη μετάδοση πακέτων με την μεγαλύτερη τιμή της όταν στέλνει ο κόμβος 8 στον κόμβο 0. Επίσης και στα τρία χρονικά διαστήματα η καθυστέρηση κυμαίνεται στις ίδιες τιμές δηλαδή από 0,01 έως 0,06.

Στη συνέχεια θα δούμε για κάθε transmitter ξεχωριστά την ενέργεια που καταναλώνει σε κάθε χρονικό διάστημα 1s , 0.5s και 0.1s.

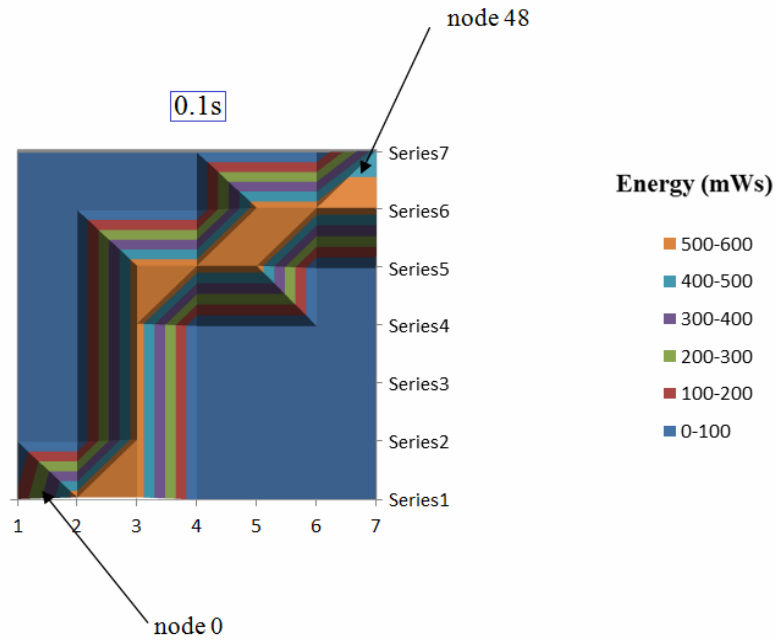
Για την περίπτωση που στέλνει ο node 48 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 67: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 1s.



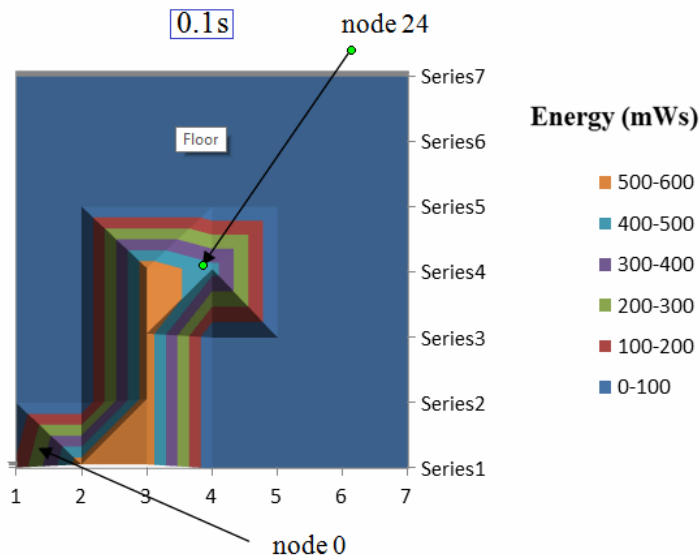
Εικόνα 68: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.5s.



Εικόνα 69: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Στο χρονικό διάστημα 1s παρατηρούμε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας στον κόμβο 48 που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο transmitter. Στο χρονικό διάστημα 0,5s παρατηρούμε μια αύξηση της ενέργειας περίπου στο 50% σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα. Στο χρονικό διάστημα 0,1s παρατηρούμε μια αύξηση της ενέργειας περίπου στο 200% .

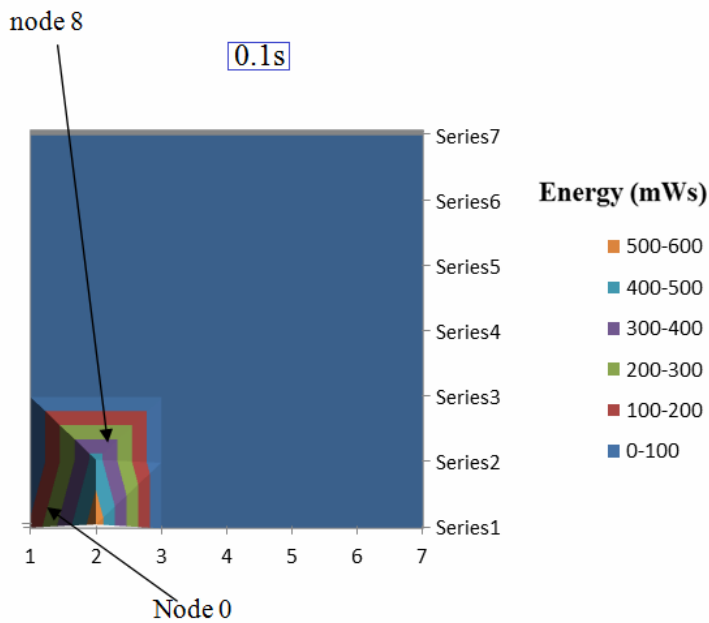
Για την περίπτωση που στέλνει ο node 24 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 70: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Στο χρονικό διάστημα 0,1s παρατηρούμε μια αύξηση της ενέργειας περίπου στο 200% σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα

Για την περίπτωση που στέλνει ο node 8 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



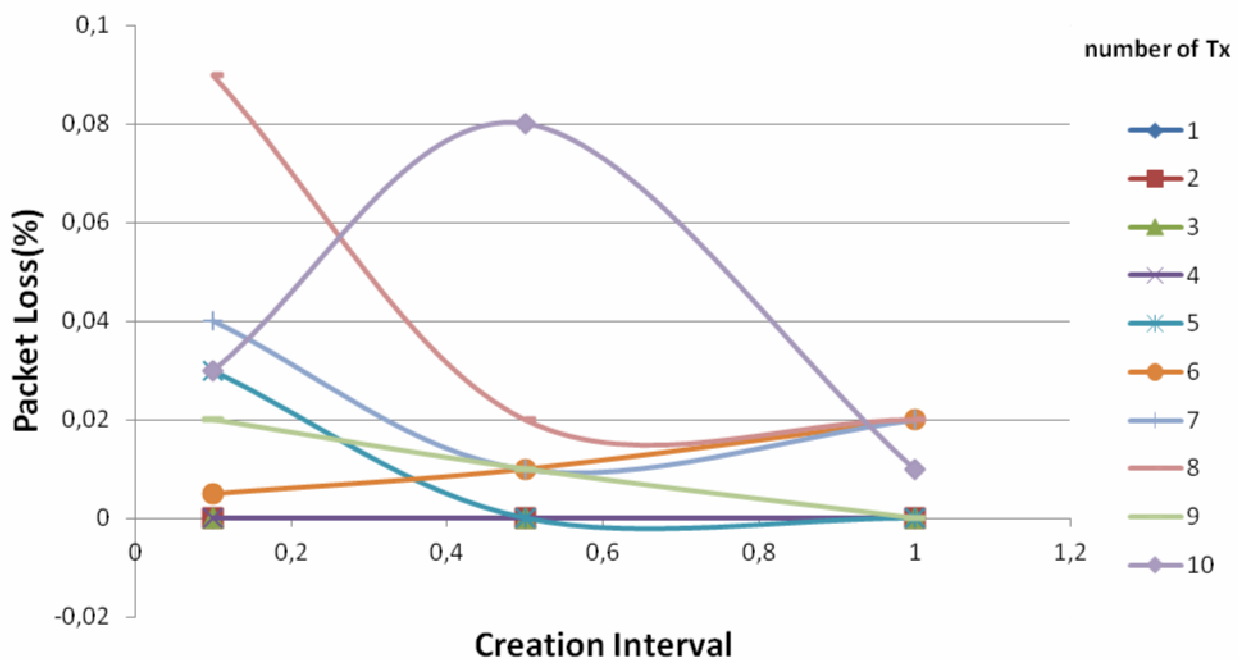
Εικόνα 71: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Στο χρονικό διάστημα 0,1s παρατηρούμε μια αύξηση της ενέργειας περίπου στο 200% σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα. Στο wise route grid single diagonal transmitter έχουμε όπως και στο προηγούμενο πρωτόκολλο έναν κόμβο που στέλνει και ο κόμβος 0 είναι στη διαγώνιο κάτω αριστερά όπως φαίνεται και στο σχήμα. Σε αυτό το πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι πιο ξεκάθαρα τα αποτελέσματα στην κατανάλωση ενέργειας. Συγκρίνοντας στο χρονικό διάστημα 0,1s παρατηρούμε και εδώ την ίδια κλίμακα στις τιμές ενέργειας, ενώ εύκολα διακρίνουμε ποιός κόμβος στέλνει τα πακέτα από τα παραπάνω σχήματα. Σε αυτό το σενάριο ελέγξαμε όταν στέλνουν οι κόμβοι 48,24 και 8 ο καθένας ξεχωριστά στον κόμβο 0.

4.4.4 Wise route Grid Multiple Transmitter Centralized Scenario

Σε αυτό το σενάριο θα μελετήσουμε την ίδια ακριβώς τοπολογία με τις ίδιες παραμέτρους στα ίδια χρονικά διαστήματα με την μόνη διαφορά ότι στην προκειμένη περίπτωση ο receiver node0 να είναι ο κεντρικός δηλαδή ο node 24. Στη συνέχεια αφού αλλάξουμε το node 0 με τον node 24 θα διαλέξουμε και δέκα τυχαίους node γειτονικούς. Στην περίπτωσή μας διαλέξαμε τους εξής nodes: 45,43,34,30,21,20,18,14,5,1. Σε αυτό το σενάριο για αρχή στέλνει ο 45 στον 0 και έπειτα προσθέτουμε κάθε φορά και έναν transmitter μέχρις ότου στείλουν όλοι προς τον receiver.

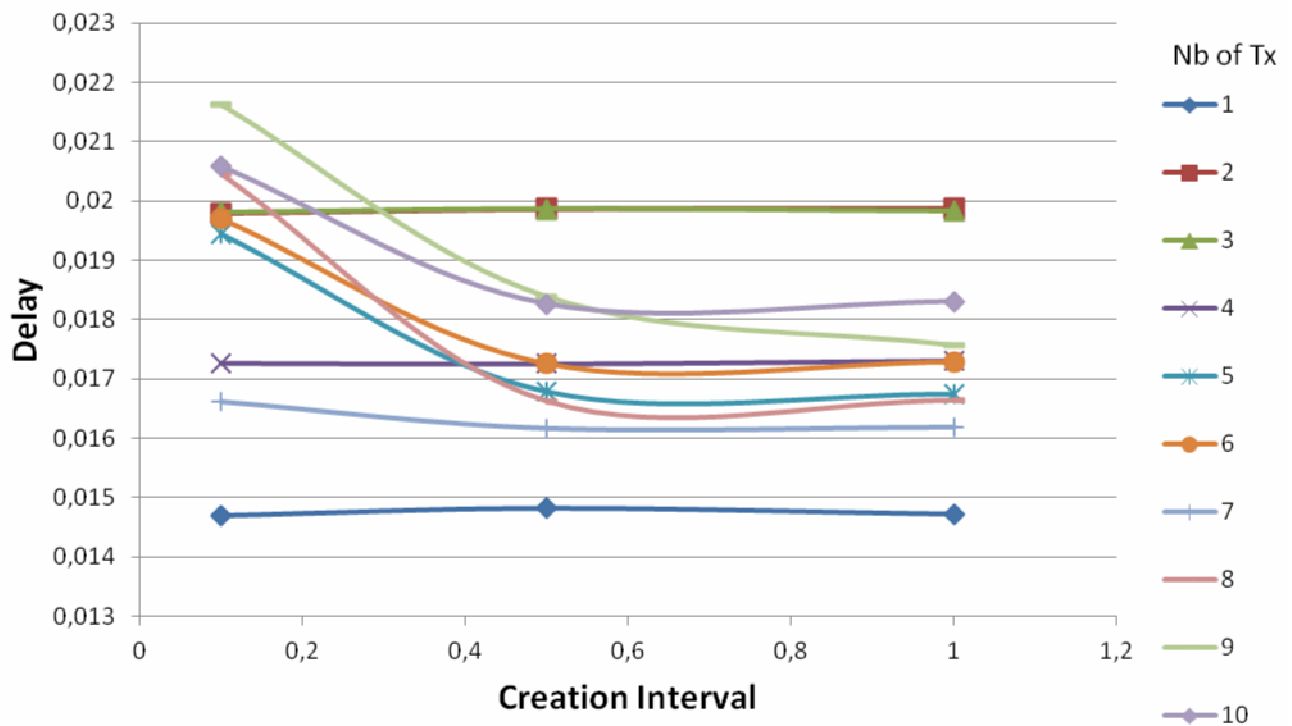
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0	0,01
0,5	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,02	0,01	0,08
0,1	0	0	0	0	0,03	0,005	0,04	0,09	0,02	0,03



Εικόνα 72: Διάγραμμα που δείχνει την απώλεια πακέτων στο χρονικό διάστημα 1s, 0.5s, 0.1s.

Όπως βλέπουμε στον παραπάνω πίνακα και στην παραπάνω γραφική παράσταση οι απώλειες είναι πολλές σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο στο οποίο δεν υπήρχε καμία. Ακόμα παρατηρούμε ότι όσο μεγαλώνει ο αριθμός των transmitters μεγαλώνει και η απώλεια αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη απώλεια σημειώνεται όταν οι κόμβοι που στέλνουν είναι 8. Γενικά όμως φαίνεται ότι το ποσοστό απώλειας πακέτων είναι πολύ μικρό δηλαδή κυμαίνεται από 0 έως 0.9%.

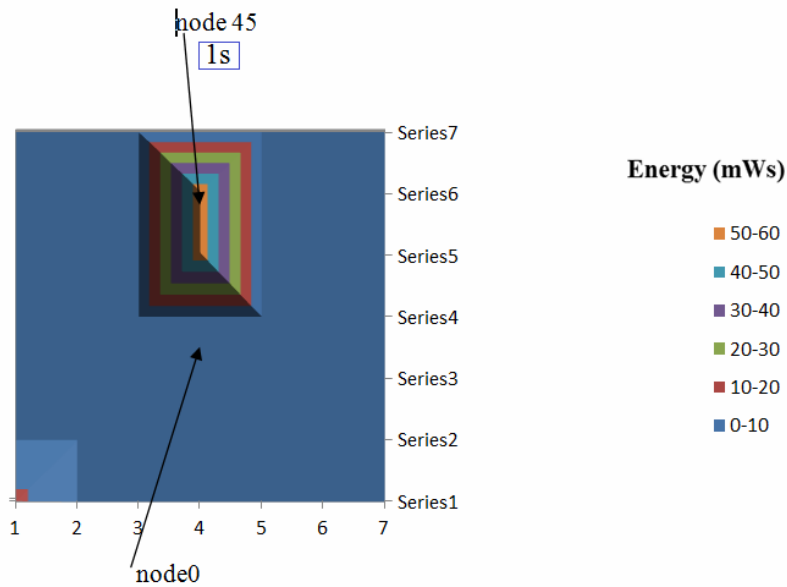
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,0147243	0,0198755	0,0198347	0,0173003	0,0167362	0,0172902	0,0161863	0,0166346	0,0175694
0,5	0,0148163	0,0198664	0,0198616	0,0172558	0,0167763	0,0172571	0,0161683	0,0166219	0,018388
0,1	0,0147001	0,0197948	0,019816	0,0172642	0,0194394	0,0197023	0,0166069	0,0204589	0,0216158



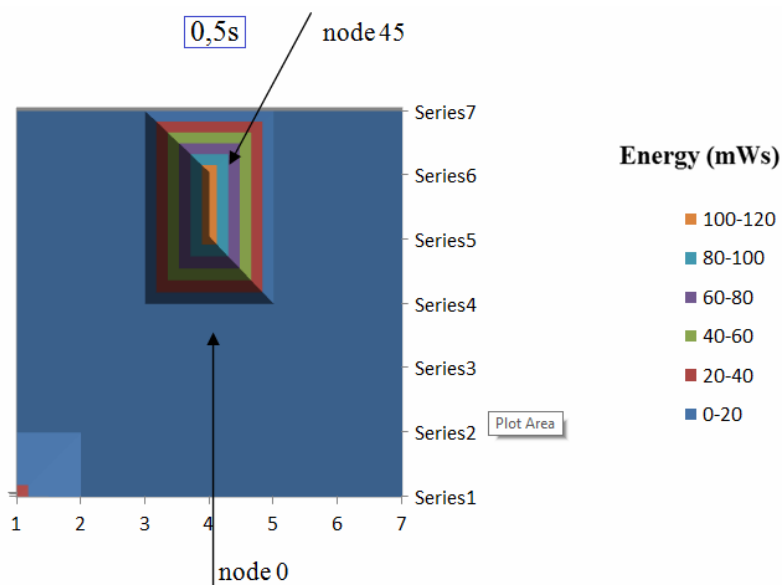
Εικόνα 73: Διάγραμμα που δείχνει την καθυστέρηση στο χρονικό διάστημα 1s, 0.5s,0.1s.

Σε αυτά τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η καθυστέρηση σε σχέση με το χρόνο μειώνεται. Όσο ο χρόνος είναι μεγαλύτερος και όσο αυξάνονται και οι transmitters τόσο αυξάνεται και η καθυστέρηση. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι όταν ο αριθμός των transmitter είναι μέχρι τους πέντε κόμβους που στέλνουν η καθυστέρηση στην μετάδοση πακέτων είναι η ίδια και για τα τρία χρονικά διαστήματα 1s,0.5s,0.1s. Οι τιμές της καθυστέρησης κυμαίνονται από 0,014 έως 0,021.

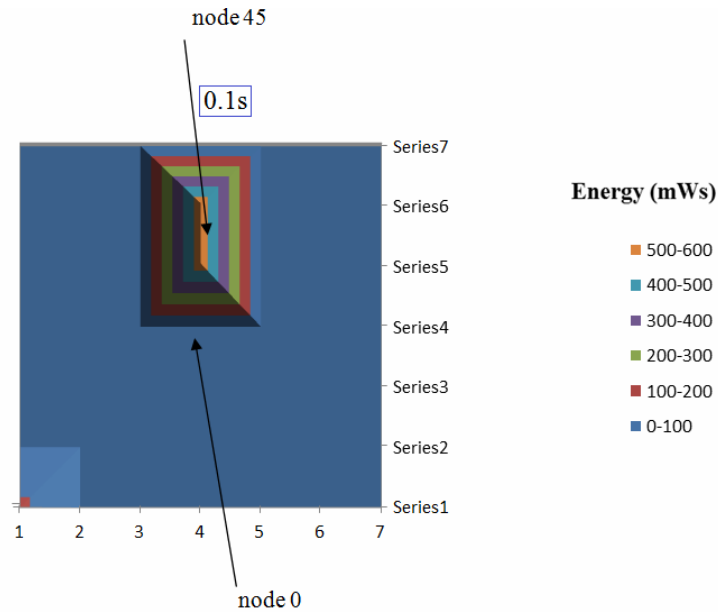
Για την περίπτωση που στέλνει ο node 45 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα



Εικόνα 74: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 1s.



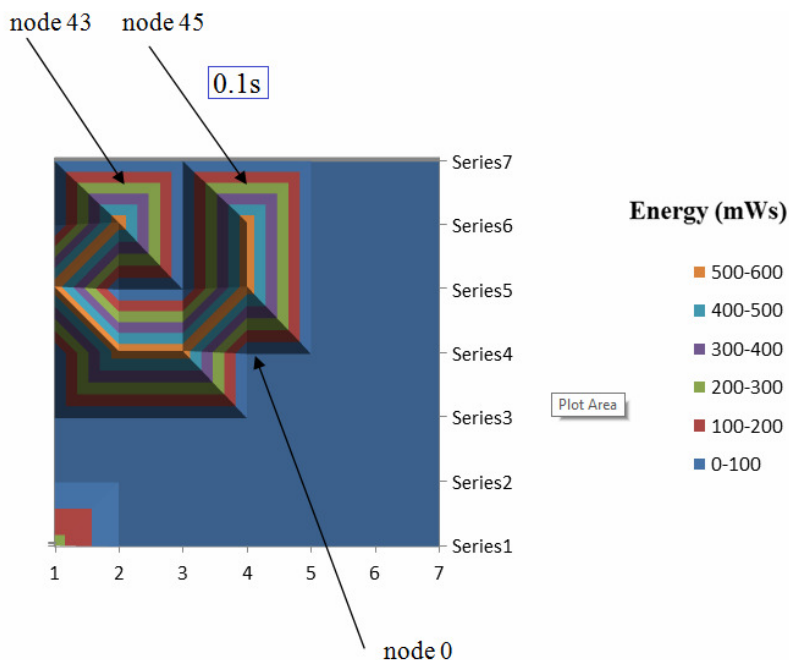
Εικόνα 75: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.5s.



Εικόνα 76: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε έναν transmitter τον κόμβο 45 οπότε εύκολα καταλαβαίνουμε από το σχήμα ότι υπάρχει κατανάλωση ενέργειας στον συγκεκριμένο κόμβο. Στο χρονικό διάστημα 0,5s παρατηρούμε μια αύξηση της ενέργειας περίπου στο 50% σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα. Στο χρονικό διάστημα 0,1s παρατηρούμε μια αύξηση της ενέργειας περίπου στο 200% .

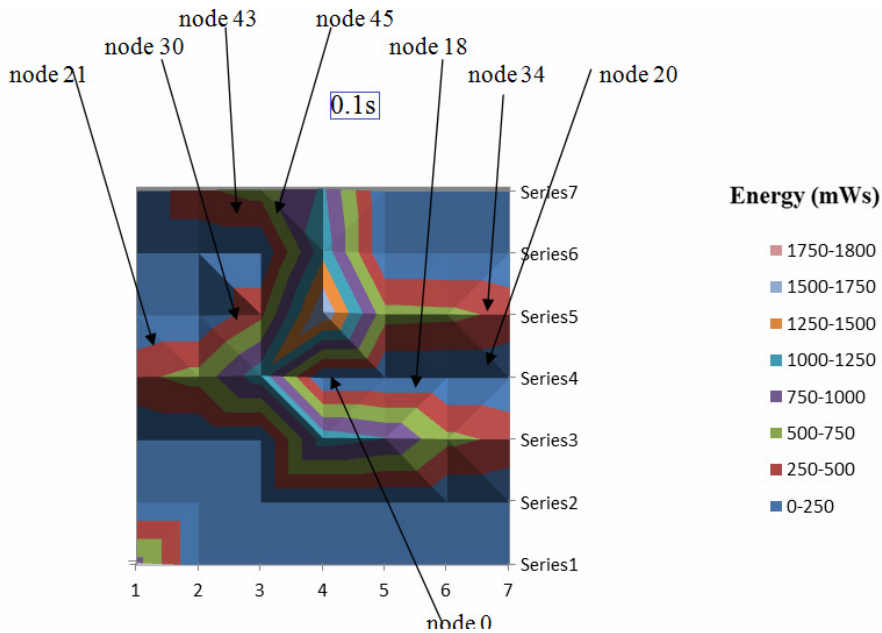
Για την περίπτωση που στέλνουν οι node 45,43 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 77: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Στο χρονικό διάστημα 0,1s παρατηρούμε μια αύξηση της ενέργειας περίπου στο 200%

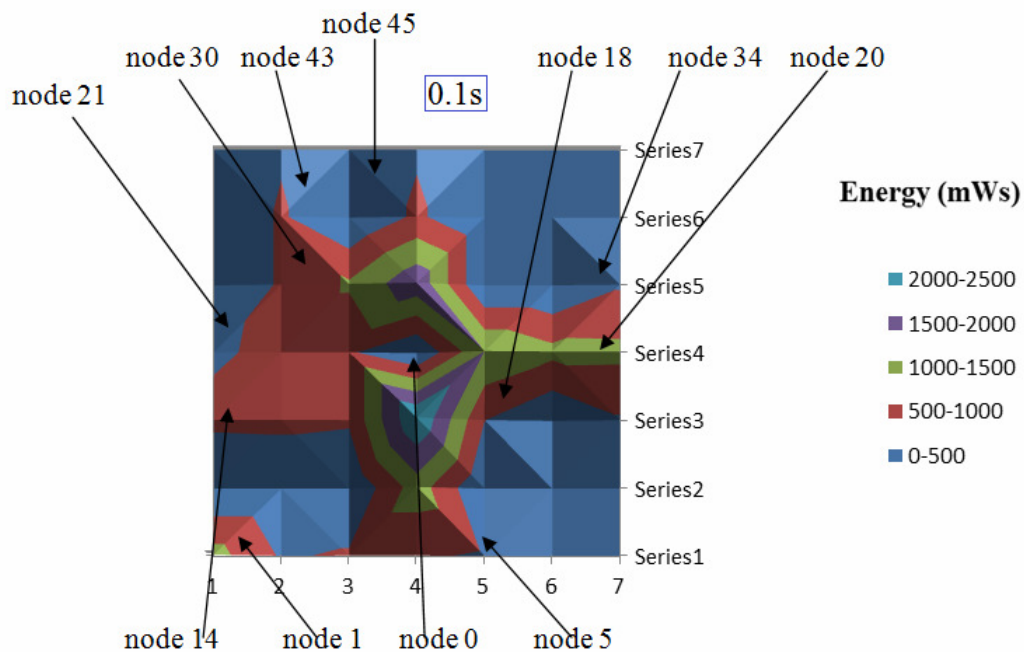
Για την περίπτωση που στέλνουν οι node 45,43,34,30,21,20,18 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 78: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Στο χρονικό διάστημα 0,1s παρατηρούμε μια αύξηση της ενέργειας περίπου στο 200%

Για την περίπτωση που στέλνουν οι node 45,43,34,30,21,20,18,14,5 και 1 στο node 0 έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 79: Διάγραμμα που δείχνει την κατανάλωση ενέργειας στο χρονικό διάστημα 0.1s.

Στο χρονικό διάστημα 0,1s παρατηρούμε μια αύξηση της ενέργειας περίπου στο 200% σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα. Στο wise route multiple transmitter centralized scenario

έχουμε πολλαπλούς κόμβους transmitters και ο κόμβος 0 είναι στο κέντρο. Και εδώ στην πρώτη περίπτωση έχουμε μόνο έναν κόμβο τον 45 που στέλνει στον κόμβο 0 και φαίνεται ξεκάθαρα η κατανάλωση ενέργειας στο σχήμα. Και σε αυτό το πρωτόκολλο δρομολόγησης παρατηρούμε ότι στο δεύτερο σενάριο της grid τοπολογίας όσο αυξάνουμε τον αριθμό των κόμβων που στέλνουν στον receiver, αυξάνονται και οι τιμές στην κατανάλωση ενέργειας. Στο wise route είναι αξιοσημείωτο να πούμε ότι η κατανάλωση ενέργεια περιορίζεται στους κόμβους που είναι οι transmitters.

4.5 Συγκριτική απόδοση του Probabilistic και του Wise route.

Τα δύο πρωτόκολλα δρομολόγησης που είδαμε ήταν το probabilistic και το wise route. Η μελέτη έγινε μέσω του προγράμματος omnet ++ όπως είπαμε και παραπάνω και αφορά δύο τοπολογίες. Η πρώτη τοπολογία είναι η straight που έχουμε τους κόμβους σε μια ευθεία και απεικονίσαμε τα αποτελέσματα για την απώλεια πακέτων, την καθυστέρηση και την ενέργεια. Σε αυτή την τοπολογία μελετήσαμε δύο σενάρια που αφορά τον αριθμό των transmitter. Στο πρώτο σενάριο στέλνει ο κάθε κόμβος ξεχωριστά και στο δεύτερο έχουμε πολλαπλούς transmitters.

Συγκρίνοντας τόσο τα αποτελέσματα όσο και τις γραφικές παραστάσεις που είδαμε και παραπάνω αναλυτικά καταλαβαίνουμε ότι το wise route πρωτόκολλο δρομολόγησης σε σχέση με το probabilistic έχει την μικρότερη απώλεια πακέτων, για την ακρίβεια στην straight τοπολογία στο πρώτο σενάριο δεν υπάρχει απώλεια πακέτων. Αντιθέτως στο probabilistic η απώλεια αυξάνεται στο ποσοστό 60%. Όσο αφορά την καθυστέρηση στην μετάδοση πακέτων και στα δύο πρωτόκολλα δρομολόγησης, παρόλο που παρατηρούμε από τα παραπάνω διαγράμματα (εικόνα 24,εικόνα 51) ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των hops τόσο αυξάνεται και η καθυστέρηση. Σε αυτές τις μετρήσεις βλέπουμε ότι το wise route έχει την μικρότερη καθυστέρηση γιατί οι τιμές του κυμαίνονται από 0,005 έως 0,05 ενώ στο probabilistic οι τιμές κυμαίνονται από 0,5 έως 3,2. Μετά είδαμε τα γραφήματα ενέργειας και στα δύο πρωτόκολλα. Στο wise route οι τιμές ενέργειας είναι πιο μεγάλες φθάνοντας τα 564mWs και αυτό συμβαίνει διότι το συγκεκριμένο πρωτόκολλο εκτελεί περισσότερες διεργασίες και για το λόγο αυτό υπάρχει μεγαλύτερη συμφόρηση στο δίκτυο.

Στο δεύτερο σενάριο της straight τοπολογίας όπου στέλνουν όλοι οι κόμβοι ταυτόχρονα στον κόμβο 0 παρατηρείται και εκεί μικρότερη απώλεια πακέτων στο wise route. Η μέγιστη ποσοστιαία απώλεια για τους δέκα transmitters είναι στο 6,6%, σε αντίθεση με αυτή του probabilistic που κυμαίνεται στο 41%. Μετά βλέποντας την καθυστέρηση στο probabilistic, οι περισσότεροι transmitters κυμαίνονται στο διάστημα μεταξύ 1,28 και 1,6 εκτός από τις περιπτώσεις που στέλνει ο κόμβος 10 και οι κόμβοι 10,9,8,7 που εκεί η καθυστέρηση κυμαίνεται στο 1,83 και 1,12, αντίστοιχα. Στο wise route τα πράγματα είναι πιο απλά, αφού μέχρι το διάστημα των 0,5s δεν φαίνεται να υπάρχει καθυστέρηση, ενώ από το διάστημα των 0,5 έως το 0,1s βλέπουμε μία απότομη αύξηση στους εννιά και στους δέκα κόμβους που στέλνουν ταυτόχρονα στον κόμβο 0, με την τιμή να φθάνει από το 0,05 στο 1,3. Όσο

αναφορά την ενέργεια, στο wise route παρατηρείται ότι υπάρχει αύξηση μόνο στους ενδιάμεσους κόμβους και όχι στον transmitter και τον receiver όπου εκεί η ενέργεια είναι χαμηλή. Αντιθέτως στο probabilistic η ενέργεια στους ενδιάμεσους είναι πιο χαμηλή με αυτή των κόμβων που στέλνουν.

Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε τα δύο πρωτόκολλα στην grid τοπολογία ως προς την απώλεια πακέτων, την καθυστέρηση και την ενέργεια όπου έχουμε 49 κόμβους(7x7).

Στο πρώτο σενάριο έχουμε τον κόμβο 0 που είναι ο παραλήπτης και βρίσκεται στο πάνω αριστερό μέρος της τοπολογίας (βλ. Εικόνα 21). Στην πρώτη περίπτωση θα συγκρίνουμε την απώλεια πακέτων, το wise route όπως και στο πρώτο σενάριο της straight τοπολογίας έτσι και εδώ έχει μηδενική απώλεια πακέτων, ενώ το probabilistic φθάνει στο 22% όταν στέλνει ο πιο μακρινός κόμβος. Ακόμα, θα δούμε ότι στην καθυστέρηση κατά τη μετάδοση πακέτων, στο wise route πρωτόκολλο υπάρχει μία αύξηση κατά 0,01 όσο ο αριθμός των hops μειώνεται. Στο probabilistic όσο μεγαλύτερο είναι ο αριθμός των hops τόσο μεγαλύτερη είναι και η καθυστέρηση. Παρατηρούμε από τα διαγράμματα της ενέργειας ότι ποσοστιαία αυξάνεται με τον ίδιο ρυθμό και στα δύο πρωτόκολλα δρομολόγησης δηλαδή στο χρονικό διάστημα 0,5s κατά 50% και στο χρονικό διάστημα 0,1s αυξάνεται κατά 200%. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι το wise route χρησιμοποιεί μεγαλύτερη τιμή ενέργειας και αυτό διότι είναι πιο συγκεντρωτική (φαίνεται πιο ξεκάθαρα η διαδρομή που ακολουθούν τα πακέτα στο δίκτυο) σε σχέση με το probabilistic, όπου εκεί η ενέργεια είναι σχηματικά πιο διασκορπισμένη στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές της ενέργειας στο wise route στο 0,1s φθάνουν στα 600 mWs και στο probabilistic στα 446 mWs.

Τέλος, στο δεύτερο σενάριο της grid τοπολογίας έχουμε τον κόμβο 0 που είναι και σε αυτή την περίπτωση ο παραλήπτης βρίσκεται στο κέντρο της τοπολογίας, και έχουμε πολλαπλούς κόμβους που στέλνουν σε αυτόν (βλ. εικόνα 22). Καθώς συγκρίνουμε την απώλεια πακέτων και στα δύο πρωτόκολλα, καταλαβαίνουμε και εδώ ότι το wise route έχει πολύ μικρή απώλεια ειδικά στις περιπτώσεις που στέλνουν 4,3,2 και 1 κόμβοι είναι μηδενική. Από πέντε κόμβους και πάνω υπάρχει αύξηση με τους οκτώ κόμβους να φθάνουν στο 0,09%. Στο probabilistic τα πράγματα αλλάζουν με το ποσοστό να φθάνει 31,39% όταν στέλνουν και οι δέκα κόμβοι. Μετά παρατηρώντας την καθυστέρηση και σε αυτό το σενάριο το wise route έχει τις μικρότερες τιμές. Πιο συγκεκριμένα όταν στέλνει ο ένας κόμβος η καθυστέρηση είναι πιο μικρή ενώ όταν αυξάνονται οι transmitters υπάρχει μια μικρή αύξηση. Αντιθέτως στο probabilistic οι τιμές είναι μεγαλύτερες στο μικρότερο χρονικό διάστημα των 0,1s. Τα διαγράμματα ενέργειας και σε αυτό το σενάριο είναι πολύ πιο ξεκάθαρα για το wise route, παρόλο που χρησιμοποιεί περισσότερη ενέργεια μπορούμε εύκολα να διακρίνουμε από το σχήμα ποιός είναι ο transmitter. Επίσης η ενέργεια και σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται κατά 50% στο χρονικό διάστημα 0,5s και 200% στο 0,1s. Στο wise route είναι συγκεντρωμένη η ενέργεια στους κόμβους που στέλνουν στον κεντρικό κόμβο, ενώ στο probabilistic για ακόμη μια φορά η ενέργεια φαίνεται διασκορπισμένη στο δίκτυο.

Αυτό που επισημαίνουμε είναι ότι σε κάθε περίπτωση το wise route μπορεί να καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από το probabilistic αλλά είναι πιο αξιόπιστο για την διαδρομή των πακέτων. Στη άλλη περίπτωση το probabilistic καταναλώνει μικρότερες τιμές ενέργειας αλλά επικρατεί μία διασκορπισμένη εικόνα κατά τη διαδρομή των πακέτων από τον transmitter στον receiver. Τέλος, καταλήγουμε πως το wise route είναι πιο αποδοτικό διότι ενημερώνει έναν πίνακα δρομολόγησης κατά τη μετάδοση των πακέτων και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να διαγράφει όποια πακέτα πλημμυρίζουν το δίκτυο και δεν περιφέρονται σε αυτό, πράγμα το οποίο δεν κάνει το probabilistic.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παραπάνω πτυχιακή εργασία μελετήσαμε και αναπτύξαμε Routing πρωτοκόλλα εστιασμένα για WSN δίκτυα σε κυρίαρχες εξομοιωτικές πλατφόρμες. Στόχος της πτυχιακής αυτής ήταν να γίνει μια ενδελεχή μελέτη και αξιολόγηση των κυρίαρχων WSN Routing πρωτοκόλλων.

Στην εργασία συμπεριλάβαμε:

- 1)Σχεδιασμό και ανάπτυξη συστήματος,
- 2)Συγκριτική επισκόπηση και πλαίσιο αξιολόγησης,
- 3) Ανάλυση και σχεδιασμό μοντέλων,
- 4)Θεωρητική μελέτη

Πιο αναλυτικά στο πρώτο κεφάλαιο είδαμε γενικά για τα ασύρματα δίκτυα ,κάναμε μια ιστορική αναδρομή από τότε εμφανίστηκαν και αναλύσαμε τις εκδόσεις τους με την πάροδο του χρόνου. Μετά αναφέραμε για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα και προσωπικά δίκτυα συγκρίνοντας τα με τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα, είδαμε γιατί είναι καλύτερα και που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αναλύσαμε τα χαρακτηριστικά των υπέρυθρων ακτινοβολιών. Στο πρώτο κεφάλαιο επίσης μελετήσαμε για το Bluetooth αναλύοντας τα χαρακτηριστικά ασφαλείας του και από τις εκδόσεις του αναλύσαμε την Bluetooth V 4.0 που χρησιμοποιείται και σήμερα. Τέλος, κλείνοντας το κεφάλαιο μιλήσαμε για την αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου IEEE 802.15.4 και μετά αναφερθήκαμε στις τρεις βασικές τοπολογίες του:1)την τοπολογία αστέρα ,2)την τοπολογία peer to peer (mesh) και 3)τοπολογία cluster tree.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περάσαμε στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και αναφέραμε πιο αναλυτικά τα κύρια χαρακτηριστικά τους που είναι:1)χαμηλή κατανάλωση,2)αυτόνομη και προγραμματιζόμενη λειτουργία,3)χαμηλό κόστος,4)γρήγορη δημιουργία δικτύου,5)προσαρμοστικότητα,6)Απλότητα,7)Απόδοση. Ύστερα μιλήσαμε για τα πρωτόκολλα δρομολόγησης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, σε αυτά ανήκουν τα reactive πρωτόκολλα που είναι το DSR(Dynamic Source Routing) και το AODV(Ad-hocOn-demandDistanceVector), τα proactive πρωτόκολλα που είναι το DSDV(Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector) και το HSR (Hierarchical State Routing Πρωτόκολλα), τα hybrid πρωτόκολλα που είναι το Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Ζώνης(Zone Routing Protocol - ZRP) και το Landmard,το collection tree πρωτόκολλο δρομολόγησης και το Leach.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφερθήκαμε στα εξομοιωτικά περιβάλλοντα και μελετήσαμε το probabilistic και το wise route πρωτόκολλο δρομολόγησης. Αρχικά όσον αφορά τα εξομοιωτικά περιβάλλοντα μιλήσαμε για τον ns2,ns3 και την λειτουργία τους. Μετά είδαμε το omnet ++ που είναι και ο εξομοιωτής που χρησιμοποιήσαμε για να πάρουμε τις μετρήσεις για να μελετήσουμε το wise route και το probabilistic.Επιλέξαμε το συγκεκριμένο πρόγραμμα εξομοίωσης διότι ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά του

είναι η ευελιξία καθώς με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού υψηλού επιπέδου C++, το OMNeT++ δίνει τη δυνατότητα να μοντελοποιηθούν όλα τα πρωτόκολλα, οι αλγόριθμοι και οι τεχνολογίες. Στη συνέχεια αναφερθήκαμε στο Mixim που είναι ένα πλαίσιο OMNeT ++ και το οποίο χρησιμοποιήσαμε σε αυτή την πτυχιακή. Επίσης είδαμε το Castalia και το Ornet και αναφερθήκαμε εν συντομία στην χρήση τους. Στο τέλος του τρίτου κεφαλαίου αναλύσαμε τον κώδικα του probabilistic και του wise route ,ώστε να δούμε τον τρόπο λειτουργίας του κάθε πρωτοκόλλου ξεχωριστά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύσαμε τα σενάρια προσομοίωσης των probabilistic και wise route και μιλήσαμε για τις δύο τοπολογίες που μελετήσαμε. Στην πρώτη τοπολογία που είναι η straight έχουμε δέκα κόμβους στην σειρά, στην οποία εξετάσαμε δύο σενάρια. Στο πρώτο σενάριο στέλνει ο κάθε κόμβος ξεχωριστά στον receiver και στο δεύτερο στέλνουν πολλαπλοί κόμβοι στον receiver. Στη τοπολογία grid έχουμε 49 κόμβους (7x7) σε μία απόσταση 50m μεταξύ τους και τα σενάρια είναι στο πρώτο σενάριο, αποστολή μέσω διαγώνιων nodes στον receiver που βρίσκεται πάνω αριστερά. Στο δεύτερο σενάριο έχουμε αποστολή μέσω τυχαίων κόμβων της επιλογής μας με προορισμό αυτή τη φορά τον receiver όπου είναι ο κεντρικός κόμβος της τοπολογίας. Αμέσως μετά αναφερθήκαμε στις μετρικές απόδοσης που είναι οι αναπηδήσεις (hops) ,η καθυστέρηση (delay) και η απώλεια πακέτων (packet loss).

Στη συνέχεια με την βοήθεια του προγράμματος omnett ++ τρέξαμε την προσομοίωση για τα δύο πρωτόκολλα (δηλαδή το wise route και το probabilistic) για να τα εξετάσουμε με ακρίβεια και να τα συγκρίνουμε μεταξύ τους. Με την βοήθεια του Microsoft excel καταχωρήσαμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και αναπαραστήσαμε γραφικά την απώλεια πακέτων σε σχέση με τον χρόνο, την καθυστέρηση στην μετάδοση πακέτων σε σχέση με τον χρόνο και την ενέργεια που καταναλώθηκε κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Τέλος συγκρίνοντας τα δύο πρωτόκολλα με την βοήθεια των αποτελεσμάτων και των γραφικών παραστάσεων καταλήξαμε ότι το wise route είναι πιο αποδοτικό καθώς έχει την μικρότερη απώλεια πακέτων και την μικρότερη καθυστέρηση στην μετάδοση πακέτων. Όσον αφορά την ενέργεια που καταναλώθηκε το wise route μπορεί να είχε την μεγαλύτερη κατανάλωση αλλά σύμφωνα με τα διαγράμματα που ήταν πλήρως κατατοπιστικά, η ενέργεια ήταν <<συγκεντρωμένη>> στους κόμβους που έστειλαν στον receiver ενώ στο probabilistic υπήρχε κατανάλωση <<διασκορπισμένη>> στο δίκτυο. Αυτό συμβαίνει διότι το wise route χρησιμοποιεί περισσότερες διεργασίες ενημερώνοντας τους πίνακες δρομολόγησης πράγμα που δεν κάνει το probabilistic.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Tynenbyum Andrew S. Εκδ. Κλειδάριθμος, *Δίκτυα υπολογιστών*.
- [2]. Stefan Viehbock, *Brute forcing wifi Protected setup*, 26.12.2011

- [3]. el.wikipedia.org
- [4]. Stallings William, *Ασύρματες Επικοινωνίες και δίκτυα*, εκδ. Τζιόλα
- [5]. Bluetooth.
- [6]. Nokia, *Wibree forum merges with Bluetooth SIG*, 4 February 2008
- [7]. Marina Petrova , Lili Wu, *Interference Measurements on Performance Degradation between collocated IEEE 802.11/g/n and 802.15.4 Networks*, Department of wireless networks.
- [8]. Dargie, N. Poellabauer, C. *Fundamentals of wireless sensor networks:theory and practise*, John Willeg and sons,2010
- [9]. Jacquet, P., T.Clusen , A.Laouiti, A. Qayquum, & L.Viennot(2001) *Optimized link state routing protocol for ad hoc networks.In proceeding of the 5th IEEE Multi topic, conference (In MIC(2001))*
- [10]. Ashmini K.Pundey and Hiroshi Fujinoki. *Study of MANET routing protocols by Glomosim,simulator,International Journal of Network Management*, 2005
- [11]. Z.Huus,et.al, *The performance of query control schemes for the zone routing protocols* , in ACM SIGCOMM, 1998
- [12].G,Pei,M.Gerla,and X.hong *Lanmar:Landmark routing for large scale wireless and hoc networks with group mobility* In ACM MobiHoc,August 2000.
- [13]. Dezlen Sony, *Probabilistic Modeling of Lench protocols and Computing Sensor Energy Comsumption Rate in Sensor Networks*, 22 feb 2005
- [14]. Διπλωματική εργασία Μήτζια Παναγιώτη, *Οπτικά δίκτυα Μεταγωγής Ριπής και αξιολόγησης αλγορίθμων Συναρμολόγησης Ριπής*, Ιούλιος 2012
- [15]. Διπλωματική εργασία Αθηνάς Μπίρδας , *Θέματα Ασφάλειας Δεδομένων Ευφυών Δικτύων Διαμονής Ηλεκτρικής Ενέργειας* , Νοέμβριος 2012
- [16]. Mixim simulator for wireless and mobile networks using OMNET ++[online]Available:<http://mixim.sourceforge.net/>.
- [17]. Omnetpp.org
- [18]. Πτυχιακή Εργασία Καράλη Γιάννη, *Προσομοίωση Ασφαλών Δικτυακών Αρχιτεκτονικών με χρήση OPNET*, 23/3/2009
- [19].Μεταπτυχιακή Εργασία Καραγιαννίδη Πέτρου, *Τεχνικές Μετάδοσης VOIP με κωδικοποίηση Δικτύου σε Ασύρματα δίκτυα πολλών Αλμάτων*, Απρίλιος 2010